

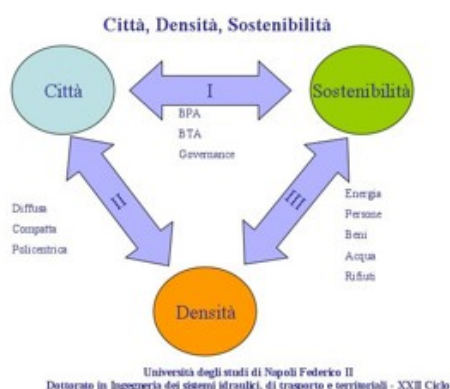
Capitolo 1 – Città, Densità, Sostenibilità

1.1 Introduzione

La ricerca effettuata si pone come obiettivo fondamentale lo studio del sistema urbano e l'approccio alle sue problematiche secondo gli ormai diffusi criteri di sviluppo sostenibile.

1.1.1 Crisi economica ed opportunità per la Città Sostenibile

Grazie a numerosi studi, sappiamo ormai che in Europa e in generale nelle economie occidentali, il sistema città rappresenta il 75% del consumo energetico totale ed è responsabile dell'80% dell'inquinamento atmosferico. Allora, alla luce degli evidenti problemi energetico-ambientali che stanno quotidianamente emergendo a livello globale ci si chiede una serie di domande di difficile soluzione: è possibile riconvertire l'organismo urbano da *energivoro* ad *energigeno*? Ed è pensabile, parallelamente, una sostanziale riduzione delle emissioni nocive e del consumo di risorse? Quale ruolo ha il territorio nel processo di conversione del sistema di sviluppo tradizionale in uno *sviluppo sostenibile*? Esiste un rapporto tra sostenibilità e densità urbana?



Il problema maggiore che oggi ci si trova ad affrontare è la dicotomia tra il sistema produttivo attuale (puntuale, periferico, con pochi addetti), ed il modello di consumo distribuito sul territorio ma concentrato nei nuclei urbani, lontani dai centri di produzione. Due modelli asimmetrici che hanno come limite fisico la portata delle reti (elettrica, idrica, e di trasporto). D'altro canto la città moderna è caratterizzata da un metabolismo che provoca un'Impronta Ecologica Urbana che è almeno di un ordine di grandezza superiore alla superficie territoriale occupata. L'analisi dei flussi del metabolismo urbano e l'individuazione di punti di equilibrio tra densità urbana e sostenibilità può rappresentare un'interessante strada per analizzare il problema.

1.1.2 L'approccio Integrato alla sostenibilità

L'approccio ad un problema complesso come quello urbano è tipicamente multisetoriale, e comprende quindi una serie di temi caratterizzati da una fitta rete di relazioni reciproche e dalla produzione di una moltitudine di esternalità dei singoli settori di intervento ricadenti su tutti gli altri coinvolti. D'altra parte, un'approccio sistemico, integralmente caratterizzato dalla sostenibilità intesa nel senso più ampio del termine, permette da un lato di semplificare il problema e di conoscere più a fondo le particolarità dei diversi ambiti di azione, e dall'altro di internalizzare nel sistema urbano, inteso ora come sistema unico, le esternalità dei singoli settori di intervento.

Oggi l'urbanista ha la responsabilità di pianificare la sussistenza energetica dell'insediamento al fine di promuovere la generazione diffusa e democratica dell'energia. Le soluzioni da adottare si ricercano proprio nella possibilità di utilizzo dei nuovi (in realtà antichissimi - Vitruvio) principi di progettazione bioclimatica, dell'imposizione di determinati coefficienti di trasmissione termica e di un approccio sostenibile integrato in fase di programmazione. La soluzione più auspicabile deriva proprio da un approccio integrato alla pianificazione che permetta di chiudere il ciclo di produzione, consumo e smaltimento di qualsiasi risorsa in uso all'interno dell'ambito, con il conseguente "obbligatorio" utilizzo delle FER, delle tecniche di smaltimento e gestione di acqua e rifiuti e del controllo dei flussi di mobilità privata, pratiche ampiamente diffuse nell'Europa Centrale e nella Scandinavia, messe in moto ai tempi della crisi energetica degli anni settanta, e recentemente adottate anche da alcune realtà italiane (Bolzano, Carugate, Varese Ligure).

1.1.3 Propositi ed obiettivi della tesi

Questo studio, oltre ad illustrare le BPA e le BTA per la sostenibilità ed analizzare le problematiche connesse al rapporto tra densità e sostenibilità urbana, si pone l'obiettivo di produrre una matrice di calcolo dell'Impronta Ecologica basata sugli Indici Urbanistici classici, una matrice di mitigazione degli impatti in grado di determinare l'Impronta Ecologica Urbana (IEU) Mitigata ed infine un indicatore di sostenibilità ambientale legato alla densità urbana, da utilizzare come strumento di supporto decisionale alle politiche di pianificazione sostenibile che dia indicazioni sulla dimensione e la densità urbana sostenibile rispetto alla biocapacità del conteso territoriale locale. Lo strumento è stato testato sull'area di trasformazione urbana di Bagnoli (NA); l'applicazione ha fornito interessanti indicazioni sia sul livello di sostenibilità dell'attuale piano e di uno scenario alternativo costruito con l'utilizzazione del potenziale energetico dell'area, che sulle implementazioni necessarie a migliorare lo stesso strumento elaborato.

E' proprio attraverso questa metodologia che questo studio ha voluto affrontare il problema

del legame tra densità e sostenibilità, costruendo una matrice in grado di mettere in relazione i parametri descritti dall'impronta ecologica con gli indici dell'urbanistica classica e i parametri in grado di orientare le politiche di sviluppo sostenibile in valutazione. E' intuitivo capire come un edificio costruito con materiali sostenibile ad alta efficienza energetica abbia un'impronta ecologica decisamente inferiore ad un qualsiasi edificio del dopoguerra e come il rapporto S/V, che ne condiziona le prestazioni termiche, sia determinante sia in un'ottica di sostenibilità che di densità urbana. La forma urbana stessa è caratterizzata da un lato dal rapporto tra S/V e dall'altro dal Rapporto di Copertura e dall'altezza degli edifici. Questi due parametri, apparentemente ininfluenti ai fini della sostenibilità, determinano invece il livello di illuminazione naturale degli appartamenti ed il potenziale produttivo fotovoltaico ed eolico del contesto urbano, nonché sensibili differenze in termini di efficienza energetica dell'involucro, è risultano essere quindi parametri assolutamente determinanti ai fini del calcolo puntuale dell'Impronta Ecologica Urbana (IEU). La stessa Consistenza Edilizia, caratterizzata dall'età dell'edificio e dal materiale di costruzione è utile per calcolare l'"Ammortamento Ecologico" dell'edificio. Questo parametro permette a sua volta di valutare l'*Embodied Energy* di un edificio che, sommato all'energia consumata durante la sua vita per climatizzazione ed illuminazione, ne determina il consumo energetico globale. Queste considerazioni valgono per gli edifici, ma sono potenzialmente mutuabili a tutti i settori della gestione urbana – trasporti, acqua, rifiuti – attraverso l'integrazione con strumenti di modellazione specifici di ciascun settore. Indici generali come Efficienza Energetica Urbana, Potenzialità da Energia Rinnovabile, Mobilità Sostenibile, Gestione dei Rifiuti e Gestione Idrica, che racchiudono tutte queste (potenzialmente) infinite analisi particolari e che danno come parametro finale il gha (global hectar), sono implementabili ed associabili all'impronta ecologica e potrebbero costituire un utile strumento di analisi per l'ecosistema urbano. Questo lavoro si propone quindi di sviluppare una matrice degli impatti che intervenga direttamente sull'IE e costituisca uno strumento di pianificazione e gestione sostenibile del territorio.

1.1.4 Struttura della tesi

La completezza di rappresentazione dell'IEU permette di valutare gli impatti delle politiche su ogni singola categoria di consumo e tipologia di terreno. Il metodo elaborato ricalca l'Impronta Ecologica, integrandola con algoritmi che la legano alle rispettive categorie di consumo governabili dalle PA.

Gli step della ricerca sono stati i seguenti:

- Elaborazione dei dati di INPUT-MATRICE DEGLI IMPATTI - IEU
- Individuazione dei valori pivot dell'Impronta Ecologica su cui la PA può intervenire

con azioni di governo del territorio;

- Creazione di algoritmi utili a calcolare l'IEU direttamente sul territorio e valutare gli effetti degli interventi nei diversi settori del governo urbano e del relativo potenziale di mitigazione legato a ciascuna categoria di consumo;
- Identificazione della Matrice di Mitigazione dell'Impronta Ecologica;
- Costruzione di un database di performance legate ai singoli interventi;
- Applicazione su un caso studio.

1.1.5 Potenzialità della ricerca

Il lavoro svolto ha fornito in primo luogo uno strumento di valutazione specifico dell'ambito urbano. L'Impronta Ecologica, oltre ad essere un importante indice di sostenibilità in generale, grazie alla sua flessibilità ha permesso di mettere a punto uno strumento di monitoraggio e governo del territorio che potrà essere molto utile per la pianificazione di nuovi interventi insediativi o profonde trasformazioni territoriali – come il caso studio analizzato – nell'ottica di determinare la densità ottimale e il carico urbanistico massimo in funzione delle caratteristiche fisiche dell'intervento e della biocapacità dell'area considerata.

Lo strumento può trovare utilità anche nella fase di gestione del sistema città grazie alla facilità di specificazione dello strumento. Attraverso una adeguata implementazione sarebbe ad esempio possibile valutare l'effetto delle micro-azioni in ogni ambito di intervento. Incentivi nei trasporti o per l'energia rinnovabile, programmi di efficienza energetica, Regolamenti Edilizi, PUM, PEC, PEAR, e tutti gli strumenti di pianificazione locale che intervengono direttamente sul territorio con qualsiasi forma di "prelievo" biologico.

Ulteriori utili indicazioni possono essere date riguardo gli effetti di mitigazione che una trasformazione territoriale ecocompatibile può avere sui sistemi antropici limitrofi. Come detto le città sono generalmente caratterizzate da rapporti IE/BIOCAPACITA' molto deficitarie, il che significa che "invadono" terreni limitrofi. Nel caso in cui venga effettuata una trasformazione all'interno del territorio ad alto potere di mitigazione – soprattutto grazie all'uso delle FER – possono essere valutati i riflessi diretti che hanno sul sistema territoriale dominante e fornire utili indicazioni sul livello di sfruttamento di detto potenziale di mitigazione in relazione all'obiettivo generale che si vuole perseguire. La matrice proposta – e gli algoritmi che sono necessari al suo funzionamento – rappresentano il punto di partenza di uno strumento di relativa semplicità, implementazione e gestione ma dalle numerose possibilità applicative e di ricerca, anche in considerazione del fatto che tutt'oggi il dibattito riguardo la metodologia dell'Impronta Ecologica,

in particolar modo riguardo l'ambito locale, è particolarmente attivo e interdisciplinare. Istituzioni ed organizzazioni internazionali come il *Global Footprint Network*, il *Best Foot Forward* ed il *Global Carbon Project*, nonché la stessa UE stanno lavorando attivamente nell'implementazione della metodologia e sono in cerca di collaborazione, ed un lavoro di specificazione e localizzazione delle categorie di consumo e delle tipologie di terreno interessate rappresentano un interessante ed ampia prospettiva di ricerca accademica.

Capitolo 2 – Città, Densità e Sostenibilità. Stato dell'arte

Il futuro del Pianeta e' inestricabilmente legato al futuro delle città. L'attuale sfida che le città pongono agli ecosistemi locali e globali non ha precedenti nella storia ecologica della civiltà umana. Il passaggio da un mondo prevalentemente rurale ad uno prevalentemente urbano implica una trasformazione radicale dell'impatto umano sull'ambiente naturale e impone un riesame delle politiche ambientali urbane. Quale effetto della concentrazione della popolazione e delle attività, le città trasformano il paesaggio, si appropriano di crescenti quantità di materiali ed energia ed esportano crescenti quantità di rifiuti ed emissioni. L'urbanizzazione causa inoltre maggiori cambiamenti nel modo in cui la popolazione umana utilizza e trasforma le risorse naturali. Se ad esempio accelera la transizione verso fonti energetiche meno inquinanti, allo stesso tempo aumenta gli usi energetici complessivi. Il prodotto di questa trasformazione e' che le città influenzano e sono influenzate dall'ambiente ben al di là dei confini delle aree in cui sono insediate. Le decisioni a scala urbana modificano l'ambiente globale. Un fatto questo che delinea un nuovo ruolo e nuove responsabilità per i governi locali. Ma se le città dipendono per la loro esistenza dalla produttività di ecosistemi su scala globale, sono anche più vulnerabili agli effetti del cambiamento ambientale globale.

Analizzando il lavoro di ricerca di Marina Alberti, - La sostenibilità urbana nello scenario globale – effettuato presso il *Department of Urban Design and Planning* di Seattle, si è appreso che la popolazione urbana mondiale sta crescendo con un ritmo senza precedenti - nel 1900 il 14% della popolazione viveva in città, oggi il 50% degli abitanti della terra abita in un contesto urbano – e che il fenomeno riguarda per lo più i paesi in via di sviluppo. Basti pensare che nel 1950 solo tre delle dieci città più grandi del mondo erano localizzate in paesi in via di sviluppo. Oggi la proporzione si e' invertita e tutte tranne tre sono localizzate in questi paesi, e qui secondo la Banca Mondiale, entro il 2020 l'80% della popolazione vivrà in città.

Un altro fattore importante che caratterizza la crescita urbana in questi paesi, e' la rapidità con cui la popolazione si concentra in questi centri limitando la già scarsa capacità dei governi locali di provvedere alla domanda di abitazioni, infrastrutture ed altri servizi essenziali (circa 280 milioni di abitanti urbani non ha accesso ad acqua potabile, e tra quelli che vi hanno accesso non sempre si tratta di acque potabilmente sicure.). Londra ha impiegato oltre 130 anni a crescere da 1 milione a 8 milioni di abitanti. Città del Messico e San Paolo vi hanno impiegato solo 30 anni a raggiungere gli 8 milioni di abitanti e altri 16 per raddoppiare agli attuali 16 milioni. Lagos nel 1950 ospitava circa 288,000 abitanti; oggi ne ha oltre 8 milioni e si prevede raddoppierà entro il prossimo decennio.

Nei paesi sviluppati invece, già altamente urbanizzati, l'attuale sfida per i governi locali

sono i processi di sub-urbanizzazione. Questo processo insieme alla separazione delle funzioni urbane aumenta inoltre la domanda di mobilità e l'uso dell'automobile. E' importante notare che i consumi energetici dovuti al settore trasporti sono quasi raddoppiati negli ultimi vent'anni. Ed il suo contributo al consumo totale di energia e' destinato ad aumentare quale conseguenza della crescita della mobilità.

Si stima che il numero di veicoli a livello mondiale aumenterà dai 580 milioni del 1990 a 816 milioni entro la prima decade del XXI secolo. Nelle città dei paesi in via di sviluppo l'uso dell'automobile e' previsto che si moltiplicherà da 5 a 10 volte all'anno. In queste città l'inquinamento da piombo è già un problema allarmante.

Inoltre, un fattore che ha contribuito notevolmente negli ultimi anni a rafforzare modelli di consumo elevati nella città dei paesi sviluppati, e' il cambiamento della struttura demografica, che con una crescita del numero e una corrispondente riduzione della dimensione delle famiglie ha generato ovvie conseguenze sul mercato della casa e sui livelli di consumo di inquinamento.

Chiari segnali emergono ad indicare che sia la povertà nelle città del sud che gli attuali livelli di consumo nelle città del nord non sono sostenibili. Alcuni indicatori sulle tendenze in atto sono esaminati di seguito.

- Nelle città più povere, la salute umana e' messa in pericolo da condizioni insalubri mentre nelle città della fascia di reddito intermedio, i pericoli per la salute sono causati dall'inquinamento atmosferico e delle acque associati con i processi di industrializzazione. Nelle città dei paesi più ricchi, l'inquinamento dell'aria e' oggi dominato dalle emissioni di trasporto.
- La rapida crescita urbana insieme ad una gestione inadeguata del suolo altera significativamente il sistema idrologico locale aumentando l'erosione del suolo ed i rischi di frane e alluvioni.
- Le città assorbono una crescente quantità di energia. Nonostante l'importante riduzione nell'intensità energetica realizzata nei paesi industrializzati, l'incremento dei consumi nei settori residenziali, terziari e di trasporto, fanno della città il luogo di maggiore concentrazione delle risorse energetiche, spesso utilizzate al di sotto delle loro potenzialità anche a causa delle inefficienze evidenziate dai centri di consumo. I crescenti consumi energetici sono ampiamente riconosciuti quali principali responsabili del cambiamento ambientale a scala.

Altro importante fenomeno da osservare, causato dalla concentrazione di attività antropiche all'interno dell'area urbana, l'ormai nota "isola di calore" o "*urban heat island*". Sulle grandi città,

appunto, in modo particolare quelle con un numero di abitanti superiore alle 500.000 unità, si forma una "cupola di calore", alta di norma sui 150-200 metri, che specie nelle ore notturne dei mesi invernali produce una vera e propria "inversione termica in quota", con la sua base a volte addirittura sollevata dal suolo. Un "piccolo ma significativo effetto serra urbano", assolutamente da non sottovalutare. Questa "isola di calore" è dovuta in modo specifico alla diversa percentuale di albedo, alla esaltata capacità termica del suolo per effetto degli asfalti, per la presenza delle costruzioni, per la grande riduzione delle superfici evaporanti naturali nonché anche per i diversi scambi di calore secondo dell'orientamento delle strade, in rapporto alla direzione e velocità del vento.

Sono tutte queste prospettive che rendono urgente un diverso approccio alla progettazione urbanistica, che faccia attenzione alle problematiche legate all'uso del suolo e delle risorse idriche, all'uso della natura – verde ed acqua – per la regolazione del microclima urbano, alla scelta delle fonti di approvvigionamento, all'efficienza energetica e ad una corretta programmazione della mobilità. I concetti di sviluppo sostenibile si stanno affermando su scala globale come l'alternativa ecologica allo sviluppo urbano. Vi è crescente consapevolezza che l'integrazione di principi ecologica nella progettazione e gestione delle aree urbane può svolgere un ruolo critico nel minimizzare l'impatto ambientale.

La questione delle città infatti è sempre di più una questione globale. La Seconda Conferenza delle Nazioni Unite sugli Insediamenti Umani, Habitat II (Istanbul, 3-14 giugno 1996), è stata esplicita nel riconoscere che il futuro economico, sociale, e ambientale delle nazioni sarà fortemente influenzato dal modo in cui i problemi urbani verranno affrontati e risolti nella prossima decade, suggerendo che le città sono potenzialmente in grado di offrire standard di vita elevati, stili di vita culturalmente ricchi, con un relativamente basso consumo di risorse e produzione di rifiuti.

Le città oggi giocano un ruolo cruciale nel riconvertire l'attuale modello di sviluppo verso la sostenibilità. Quali centri della civilizzazione umana e dello sviluppo economico hanno dimostrato di possedere qualità uniche per realizzare questa transizione.

Uno dei primi sostenitori dell'ecologia urbana è stato l'accademico tedesco Ekhart Hahn. Nel suo studio del 1972 *Okologische Stadtplanung* (pianificazione urbana ecologica) ha definito i criteri e le misure da utilizzare per uno sviluppo urbano sostenibile. Successivamente ha condotto ricerche con collaborazioni internazionali i cui risultati sono stati pubblicati nel 1990 con il rapporto *Okologische Stadtumbau* (recupero ecologico urbano) dove vengono individuate otto linee guida:

- Etica e rispetto per l'individuo;
- Partecipazione e democratizzazione;
- Struttura in reti;

- Ritorno al mondo naturale e alle esperienze sensoriali;
- Densità urbana controllata e caratterizzata da uno sviluppo funzionale misto;
- Rispetto per lo spirito del luogo;
- Ecologia ed economia;
- Cooperazione internazionale.

Applicando a livello locale queste linee guida, si costituirebbero una serie di “ecostazioni” che funzionerebbero come centri di informazione, comunicazione, azione e cultura attraverso una serie di misure in parallelo su tre livelli di intervento: Progettazione urbana e tecnologie, comunicazione sulle questioni ambientali e sulla democrazia locale ed Economia e Ambiente.

La possibilità di uno sviluppo sostenibile non dipende però solo da una corretta progettazione, ma ha bisogno dell’azione sinergica di istituzioni, politici e associazioni ambientaliste. E’ un obiettivo che richiede l’ottimizzazione dell’ambiente naturale e del costruito e deve portare benefici sociali ed economici per tutta la comunità, che per questo motivo deve necessariamente essere coinvolta attraverso processi di partecipazione attiva, soprattutto da parte dei residenti.

Per capire l’importanza di un approccio sostenibile alla pianificazione si deve tenere presente che, sebbene siano fonte di crescente pressione per l’ambiente, sono proprio le città ad offrire maggiori opportunità per realizzare economie di scala e risparmiare grandi quantità risorse naturali.

La gestione in chiave di sostenibilità è essenzialmente un processo politico che riguarda la pianificazione territoriale ha un impatto sull'amministrazione urbana. e implica l'utilizzo di vari strumenti che concernono questioni ambientali, sociali ed economici.

Occorre comunque tener presente che è necessario intervenire soprattutto a monte, allo scopo di ridurre

- La quantità di energia consumata nel sistema
- I movimenti di beni, persone e materiali
- Il consumo del suolo /territorio/risorse naturali e quindi, la produzione di rifiuti

Applicando questi strumenti, il processo di politica urbana sostenibile può diventare più ampio, potente e ambizioso di quanto in genere riconosciuto.

Per orientare l'attività edilizia verso l'ecosostenibilità, gli operatori del processo edilizio, ed in particolare quelli coinvolti nella progettazione, devono necessariamente essere in grado di prevedere le conseguenze che le loro scelte, ad ogni scala d'intervento, determineranno nel tempo e nello spazio, sull'ambiente ed i propri abitanti, in un ambito prossimo e lontano degli interventi. Per questa ragione è necessario recuperare la capacità di gestire la complessità: ovvero di ricucire e

mettere a sistema tutti gli elementi del processo edilizio che per cultura e formazione siamo abituati a trattare separatamente.

Nell'ambito del processo edilizio ecosostenibile, la progettazione è una fase cruciale, e volendone descrivere gli elementi costitutivi e caratteristici devono essere citati:

- l'attenzione al luogo, poiché l'edilizia ecosostenibile è necessariamente dipendente dall'ambiente, che può a sua volta essere modificato dall'opera realizzata;
- l'estensione della valutazione di ecosostenibilità nello spazio, poiché l'impatto sul territorio ed il consumo delle risorse vanno necessariamente estesi oltre il luogo di realizzazione dell'edificio, (considerando l'impatto ambientale prodotto sui luoghi di produzione e quello dovuto al trasporto da questi ai luoghi di edificazione);
- l'estensione della valutazione di ecosostenibilità nel tempo, poiché oltre al momento di realizzazione ed uso degli organismi edilizi, essi producono effetti prima, durante il reperimento delle materie prime e la produzione fuori opera degli elementi tecnologici, e dopo, durante la demolizione, smaltimento ed eventuale riciclaggio di materiali e componenti;
- l'esigenza di intervenire in modo coordinato e coerente nelle diverse scale progettuali;
- l'interdisciplinarietà e la messa a sistema degli aspetti ambientali, sociali, ed economici, ovvero la necessità di coinvolgere e coordinare, in tutte le fasi del processo edilizio ed alle diverse scale progettuali, specialisti di diversi settori coinvolti nel progetto ecosostenibile, con obiettivi ed un linguaggio comuni;
- l'attività di verifica delle scelte progettuali, alle diverse scale, lungo il processo edilizio e considerando l'intero ciclo di vita dell'organismo edilizio, in relazione agli obiettivi generali e specifici del progetto ecosostenibile.

Come si intuisce facilmente, il progetto ecosostenibile non può essere improvvisato, perché richiede un approccio che riconosca la complessità del processo edilizio nel suo insieme, e al contempo degli strumenti metodologici che permettano agli operatori del processo di governare tale complessità.

Gli strumenti di pianificazione degli usi del suolo e lo stesso zoning sono meccanismi attraverso cui è possibile guidare le città verso un modello sostenibile.

Una pianificazione attenta ai parametri ecologici può ridurre considerevolmente la domanda di suolo, risorse naturali ed idriche, e assicurare il mantenimento di aree verdi all'interno del tessuto urbano, fondamentale in quanto rispondenti a una duplice funzione : quella di regolare il

microclima riducendo il fenomeno della cosiddetta “urban heat island” e quello di assorbire gli inquinanti atmosferici, mettendo molte aree agricole potenzialmente produttive a patto che non siano caratterizzate da un alto tasso di agenti inquinanti.

Il disegno urbano può essere inoltre determinante per la domanda di risorse necessarie a supportare un dato tipo e livello di attività e per la riduzione dello *sprawl* urbano. Sistemi urbani compatti sono considerati molto più efficienti degli insediamenti dispersi sul territorio. Newman e Kenworthy (1989) hanno messo in evidenza che la densità urbana è inversamente correlata con il consumo di benzina pro capite.

Come già accennato, importanti economie di scala possono essere attuate nel provvedere a servizi essenziali come l'approvvigionamento idrico o la raccolta e smaltimento dei rifiuti. L'infrastruttura è un altro dei fattori importanti che influenzano l'efficienza dell'uso delle risorse a livello urbano ed è quindi auspicabile che l'urbanista vi dedichi particolare attenzione: la qualità ed il mantenimento dei sistemi di approvvigionamento e distribuzione di acqua ed energia, il sistema di trasporto di passeggeri e merci, il trattamento dei reflui e lo smaltimento dei rifiuti urbani svolgono infatti una funzione chiave nel regolare la quantità e l'uso appropriato delle risorse nel sistema urbano.

La Pianificazione Urbanistica oggi fornisce inoltre la possibilità di raggiungere un'equa distribuzione dei sistemi di approvvigionamento e di stoccaggio energetico, ottenibile attraverso economie di scala applicate ai primi stadi di pianificazione, derivati dalla generazione distribuita, offerta dalle FER che producano energia termica ed elettrica, e da vettori energetici ecologici come l'idrogeno. Infatti alla luce dei recenti studi effettuati sull'ambiente e dall'attenzione prestata a queste tematiche internazionali, risulta ormai improcrastinabile l'introduzione di energie rinnovabili e di misure di maggiore efficienza energetica, al fine di rendere autosufficienti le aree urbane di nuova progettazione.

La città sostenibile è caratterizzata da una molteplicità di fonti e, soprattutto, da un'elevata percentuale di energie rinnovabili rispetto a quelle convenzionali: fotovoltaica, eolica, geotermica, micro-idroelettrica, correnti marine maree e biomassa, nella loro auspicabile e progressiva combinazione con l'idrogeno. Essa è capace non solo di produrre l'energia di cui ha bisogno, ma di utilizzarla al meglio, con maggior efficienza, insieme alla risorsa idrica. Entrambe, infatti, sono fondamentali per sostenere la vita di ogni attività, ma risultano sempre più scarse rispetto alla crescente domanda. Più in generale la città, la tipologia insediativa più “energivore” in assoluto, diventerà un vero sistema “energigeno”.

2.1 L'Ecosistema Urbano. Flussi ed entropia

A partire dalla seconda metà del '900 il movimento ecologista mondiale è protagonista nella produzione di teorie che presentano e schematizzano il metabolismo ecologico mondiale. Nei primi anni '60 James Lovelock costruì la sua "*Gaia Hypothesis*", nel quale affermava che il pianeta Terra può essere visto come un unico organismo caratterizzato da interazione complesse tra organismi viventi e non viventi. In Architettura Frank Lloyd Wright espone per primo il concetto di Architettura Organica e teorizza con *Disappearing City* la forma e la funzione della città moderna. All'inizio degli anni '60 Eugene Odum, biologo americano specializzato nell'ecologia degli ecosistemi, introduce l'approccio olistico alle trattazioni ecologiche, presentando la Terra come un luogo di ecosistemi correlati tra loro e strettamente dipendenti in cui è possibile misurare anche l'energia "storica" presente nella materia, l' "*energia*".

Il terreno fertile del movimento ecologista porta i suoi primi frutti anche nello studio delle città. Nel 1965 Abel Wolman, con "*Metabolism of Cities*", schematizza i flussi di materia che attraversano l'organismo urbano e ne calcola l'entità per una città di 1.000.000 di abitanti nel contesto economico del 1965, indicando come elementi di INPUT Acqua, Energia e Beni di Sussistenza, e come OUTPUT le emissioni, i rifiuti e le acque reflue. Ekhart Hahn approfondisce il tema con il suo "*Ecological Restructuring*" implementa le teorie di Wolman introducendo nel metabolismo urbano i Beni di Consumo come INPUT ed il Calore Disperso come OUTPUT, avvicinando quindi la città al concetto di entropia. Su queste basi si fondano una serie di esperienze e sperimentazioni di città sostenibili europee che, seguendo le indicazioni fornite dall'evoluzione della teoria ecologica urbanista, tendono ad attuare strategie di gestione urbana volte a chiudere il flusso di materia all'interno del ciclo urbano ed a minimizzare gli impatti e le pressioni sull'ambiente circostante.

Sempre nel secondo dopoguerra, grazie alla spinta dal grande mutamento dovuto all'introduzione delle automobili e dei combustibili fossili, la città vive un momento di espansione senza precedenti e si prepara ad eliminare il rapporto storico tra il territorio urbano e le risorse energetiche disponibili in loco (energia solare) e ad affrontare fenomeni complessi prima sconosciuti come lo *sprawl urbano* e l'*isola di calore*. Numerosi studiosi affrontano il problema che lega la città e la densità e lanciano l'allarme contro la città diffusa che occupa indiscriminatamente terreno cementificando le aree verdi suburbane. Già nel 1945 Harris e Ullman, con l'articolo "*The Nature of cities*", illustrano e descrivono un modello di città policentrica che tende a minimizzare gli spostamenti di beni e soprattutto di persone, grazie all'offerta completa di servizi in ogni singolo "policentro urbano". In quegli anni seguono numerose sperimentazioni di questo modello insediativo grazie ai disurbanisti, alle New Town inglesi ed alle Villes Nouvelles francesi.

Nello sviluppo teorico sono stati i settori identificati come quelli di maggior rilievo nel "Metabolismo Urbano", acqua, rifiuti, mobilità ed energia, tutti caratterizzati dalla necessità di

definire al meglio il rapporto con il sistema urbano. I quattro settori, peraltro peculiari dell'approccio AG21L, sono definiti in termini di sostenibilità da un rapporto differente e specifico con la densità urbana.

2.2 Politiche, Tecnologie e Sostenibilità

2.2.1 Agenda 21 Locale

Agenda 21 è un programma delle Nazioni Unite dedicato allo sviluppo sostenibile: consiste in una pianificazione completa delle azioni da intraprendere, a livello mondiale, nazionale e locale dalle organizzazioni delle Nazioni Unite, dai governi e dalle amministrazioni in ogni area in cui la presenza umana ha impatti sull'ambiente.

Agenda 21 è quindi un piano d'azione per lo sviluppo sostenibile, da realizzare su scala globale nel XXI secolo per affrontare al meglio le emergenze climatico-ambientali e socio-economiche che l'inizio del Terzo Millennio pone inderogabilmente dinnanzi all'intera Umanità.

Le Nazioni Unite, nel 1987, tramite il rapporto Our Common Future hanno introdotto il concetto di "sviluppo sostenibile" ripreso successivamente al summit delle Nazioni Unite tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992. Nel 1997, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite tenne una sessione speciale per valutare i progressi dei primi cinque anni dall'approvazione dell'Agenda 21 (Rio+5). L'Assemblea riconobbe il carattere di disparità del progresso e ne identificò i tratti caratteristici, compresa la crescente globalizzazione, che ampliano le disparità di reddito e continuano il deterioramento dell'ambiente. Una nuova risoluzione (S-19/2) dell'Assemblea Generale promise nuove azioni. Ne consegue un eccessivo numero di disagi riguardanti le disparità. Il Piano di Esecuzione, concordato nel Summit Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile (Earth Summit 2002 o WSSD) confermò l'impegno delle Nazioni Unite per il 'pieno adempimento' dell'Agenda 21, insieme al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo del Millennio e ad altri accordi internazionali.

L'Agenda 21 è divisa in 4 capitoli per un totale di 40 obiettivi. La suddivisione dei capitoli è la seguente: 1) Natura economica sociale (es. cambiamento comportamentale di consumo, politiche demografiche sostenibili e lotta contro la povertà). 2) Conservazione e gestione delle risorse per lo sviluppo (es. protezione dell'atmosfera e lotta alla deforestazione). 3) Coinvolgimento di tutte le componenti nazionali nei processi decisionali. Viene adottata l'agenda 21 locale, cioè un processo di programmazione capace di avviare strategie di sviluppo sostenibile che siano rispondenti alle caratteristiche locali e potenziali del territorio. 4) Attuazione pratica delle decisioni concordate (es. programmi di educazione ambientale, trasferimento di tecnologia ecosostenibile da un paese all'altro). L'esecuzione dell'Agenda 21 è stata programmata per includere interventi a livello

internazionale, nazionale, regionale e locale. In alcuni stati le autorità locali hanno preso iniziative per la realizzazione del piano localmente, come raccomandato nel capitolo 28 del documento. Questi programmi locali sono noti come 'Local Agenda 21'.

2.2.2 Tecnologie a servizio della Sostenibilità. *Best Technologies Available*

Nel gennaio 2004 la Commissione Europea ha presentato una comunicazione al Consiglio ed al Parlamento Europeo su: “Incentivare le tecnologie per lo sviluppo sostenibile: Piano d'Azione per le tecnologie ambientali nell'Unione Europea (ETAP)”. Uno degli obiettivi principali del Piano è quello di far diventare l'Unione Europea il continente leader nello sviluppo e diffusione di tecnologie ambientali entro il 2010.

Secondo l'ETAP le tecnologie compatibili con l'ambiente non sono solo tecnologie singole, ma sistemi totali che comprendono know-how, procedure, beni e servizi, apparecchiature e procedure organizzative e di gestione. Da tale definizione si evince la vastità delle tipologie e dei settori di applicazione delle tecnologie ambientali e si riconosce che l'integrazione delle tecnologie e l'approccio sistemico alla pianificazione energetica costituiscono la strada migliore per raccogliere la sfida della sostenibilità.

La Terra riceve dal Sole un flusso ininterrotto di energia, che alimenta i processi vitali, animali e vegetali, contribuendo all'equilibrio dinamico degli stessi. L'energia, nelle sue varie forme, è disponibile in natura racchiusa nelle fonti energetiche, classificate in primarie e secondarie.

Fa eccezione, per convenzione, l'energia elettrica di origine idro-geotermica o nucleare, poiché tali fonti primarie non hanno altra possibilità di utilizzo se non quella che deriva dalla loro trasformazione in elettricità.

Attualmente l'uomo utilizza in gran parte energia nella sua forma termica. Soltanto di recente si è accostato ad altre forme derivate dalla conversione dell'energia solare. L'uomo fa uso di energia in due modi diversi ma concorrenti ad elevare il suo benessere e la qualità del suo vivere: da una parte essa è direttamente consumata per soddisfare alcune indispensabili esigenze, dall'altra è un fattore essenziale dei processi produttivi delle fabbriche che producono beni di consumo: utilizziamo, infatti, strumenti che abbisognano di energia.

La qualità della vita è migliorata grazie anche ai dispositivi destinati alla mobilità individuale o collettiva, che sfruttano l'energia derivata dagli idrocarburi. Il lavoro domestico, poi, è stato alleviato da un uso sempre più esteso degli elettrodomestici azionati dall'energia elettrica, e così via per tanti altri aspetti della vita di tutti i giorni. In definitiva, l'uomo ha migliorato enormemente i propri standard di vita e di benessere grazie alla possibilità di disporre di grandi quantità di energia a costi relativamente bassi.

Lo sfruttamento delle risorse naturali l'utilizzo, spesso nella forma dell'ipersfruttamento, delle fonti

che contribuiscono al benessere individuale e collettivo, producono diversi effetti.

Sappiamo che l'energia solare assorbita dalla Terra e dall'atmosfera determina i grandi cicli delle correnti oceaniche e della climatologia atmosferica. L'energia solare, infatti, è il motore che, attraverso il fenomeno dell'evaporazione di grandi masse oceaniche, e successive precipitazioni, alimenta i cicli vitali degli organismi nelle terre emerse. Inoltre, l'energia solare viene trasformata dalle piante tramite la fotosintesi per fornire, direttamente e indirettamente, energia per la crescita degli organismi vegetali e in definitiva di quelli animali.

Lo sfruttamento delle risorse naturali, aventi origine diretta o indiretta dal Sole, è stato oggetto di interesse già a partire dall'antichità, quando l'uomo cominciò a radunarsi in gruppi sociali sempre più ampi, portando alla nascita di quelle comunità odierne che sono le città.

In questo modo prese avvio lo sfruttamento delle risorse naturali, quali ad esempio i fiumi che, riempiti dall'acqua che trae origine dal ciclo idrologico, divennero vie di trasporto e luoghi di sviluppo per le grandi città. Così come la potenza del vento venne utilizzata per macinare il grano nei grandi mulini a vento e per alimentare le vele delle navi per trasportare, attraverso gli oceani, colonizzatori e materiali per il commercio, diffondendo la civiltà.

L'uomo scoprì, poi, che l'acqua che cadeva sulle ruote idrauliche poteva fornire energia elettrica, mentre l'energia solare rilasciata dalla combustione della legna, poteva trasformare l'acqua in vapore, incentivando fortemente il progresso dell'industria e dei trasporti, e fornendo agli uomini un caldo confortevole nelle case e negli edifici.

Nella seconda metà dell'ottocento cominciò l'utilizzo su larga scala del carbone, e contemporaneamente vennero scoperte le possibilità di utilizzo del petrolio, il cui uso rimase comunque marginale fino all'inizio del XX secolo.

La convenienza del carbone e, successivamente, quella del petrolio e del gas (tutte fonti primarie fossili), è stata la causa che ha contribuito in maniera determinante all'abbandono di quelle pratiche costruttive oggi note sotto il nome di solare passivo, quindi dell'utilizzo durante il giorno della luce solare e di altre caratteristiche di progettazione architettonica eco-compatibile negli edifici. L'utilizzo delle fonti fossili porta inevitabilmente al massiccio incremento dell'emissione in atmosfera di quelli che vengono definiti gas serra, con conseguente alterazione del clima a livello globale.

2.2.3 Le fonti energetiche

Gli uomini utilizzano in gran parte l'energia proveniente dal Sole. La maggior parte delle volte, tuttavia, si utilizzano i combustibili fossili in modo dissoluto e sconsiderato, come se fossero inesauribili.

Al contrario, i combustibili fossili si stanno esaurendo e non possono essere sostituiti in un

breve lasso di tempo. Le attività di accertamento della disponibilità di fonti energetiche ancora disponibili sul nostro pianeta forniscono indicazioni in continua evoluzione. Le stime riguardo le varie fonti fossili sono soggette a continui aggiornamenti in relazione alla scoperta di nuovi giacimenti.

Dopo la crisi petrolifera del 1973, molti preannunciavano l'esaurimento delle riserve mondiali di petrolio greggio. In effetti le riserve accertate nel 1976 ammontavano a 88 Gt ma già nel 1999 erano cresciute a 141 Gt. Mentre le riserve ancora disponibili nel 2004 venivano valutate in 162 Gt di petrolio.

Per ciò che concerne la durata di queste riserve di petrolio e altre fonti (gas naturale e carbone, tornato recentemente in auge), essa è ovviamente legata all'intensità dei consumi, e quindi dei comportamenti che adotteremo.

Al livello dei consumi attuali le riserve di petrolio si stima potrebbero durare ancora per circa 40 anni. Esiste una soluzione prontamente disponibile, almeno a “dare una mano” alla richiesta delle enormi quantità di energia da parte del genere umano: le fonti rinnovabili di energia.

Queste fonti non inquinano e sono virtualmente inesauribili, inoltre funzionano in armonia permanente con i sistemi fisici e ecologici della Terra e creano nuove forme di lavoro e nuove industrie senza spese per combustibili. Infine, contribuiscono all'autosufficienza fisica e economica delle nazioni e sono disponibili sia per i paesi sviluppati che per quelli in via di sviluppo.

L'Unione Europea mira ad aumentare l'uso delle risorse rinnovabili: nella Direttiva 2001/77/CE Promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, pone i seguenti traguardi: entro il 2010: soddisfare, attraverso obiettivi differenziati per ogni singolo Stato membro, il 12% del consumo interno lordo di energia attraverso l'utilizzo di fonti rinnovabili, con una quota indicativa del 22% di elettricità prodotta da fonti energetiche rinnovabili sul consumo totale di elettricità della Comunità; entro il 2020: coprire il 20% di energia prodotta con fonti rinnovabili, mediante un considerevole aumento di quelle più vicine al mercato (compresi i parchi eolici off shore e i biocarburanti di seconda generazione), entro il 2030, produrre energia elettrica e calore con ridotte emissioni di carbonio anche attraverso il ricorso a sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂; adattare gradualmente i sistemi di trasporto ai biocarburanti di seconda generazione e alle celle a combustibile ad idrogeno, dal 2050, completare il passaggio ad un sistema energetico europeo carbon free attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e l'utilizzo sostenibile del carbone, del gas e dell'idrogeno e, in prospettiva, della fissione nucleare di quarta generazione.

2.2.3.1 Le fonti non rinnovabili

I combustibili fossili, sostanze costituite prevalentemente da carbonio, si sono formati a seguito

delle trasformazioni subite da residui animali e vegetali nel corso delle varie ere geologiche.

Ad oggi, nelle forme di petrolio, carbone e gas naturale, sono la principale fonte energetica dell'umanità, a causa delle caratteristiche che li contraddistinguono: sono "compatti", ovvero hanno un alto rapporto energia/volume, sono facilmente trasportabili e stoccabili, fino a pochi anni fa costavano poco. Il loro consumo comporta però notevoli svantaggi: sono inquinanti, determinano l'incremento di CO₂ in atmosfera con conseguenze sul riscaldamento terrestre, e non sono rinnovabili, dato che il processo di fossilizzazione della sostanza organica è estremamente lungo. Poiché il tasso al quale vengono utilizzati è molto maggiore del tasso (trascurabile) della loro rigenerazione, i giacimenti vanno esaurendosi, mentre aumenta il loro prezzo, anche a causa della crescente domanda di energia a livello mondiale.

Per tali motivi si ritiene che i fabbisogni energetici mondiali dovrebbero includere quote più ampie di fonti energetiche alternative nel paniere energetico.

Il carbone

Il carbone è un combustibile tra i più antichi adoperati dall'uomo e al cui apporto energetico si deve la rivoluzione industriale e l'inizio della cosiddetta era della tecnologia. Esso è costituito da sostanze di origine organica, i cui atomi costitutivi sono: carbonio, idrogeno, azoto, ossigeno, zolfo, e da minerali, quali argilla, calcite, pirite e altri materiali inerti, oltre ad una percentuale variabile di umidità.

Le riserve accertate ammontano a valori tali da poter alimentare i consumi, all'attuale livello di richiesta, per i prossimi duecento anni.

Attualmente l'impiego del carbone è indirizzato in parte ad usi termoelettrici e, soprattutto, ad usi siderurgici (la produzione di una tonnellata di ghisa richiede circa 500 kg di coke): nelle cokerie il carbone viene trasformato in carbon coke metallurgico (che ha potere calorifico inferiore, p.c.i., pari a 7.200 kcal/kg e oltre) ad elevata resistenza meccanica e quindi adatto a sostenere la carica degli altoforni. Il carbone viene oggi, per motivazioni legate ai costi, utilizzato in prevalenza dagli stessi paesi produttori. Infatti il valore minerario di questo combustibile costituisce solo del 30% del costo finale, essendo la maggior parte del valore al consumo imputabile alla sua movimentazione (ferrovie, chiatte, camion).

Gli idrocarburi

Gli idrocarburi sono composti del carbonio con alta presenza di atomi di idrogeno e, in parte, di ossigeno, azoto e zolfo. Ne esistono di vari tipi e si ritrovano in natura nelle rocce sedimentarie.

Come vedremo, hanno contribuito a formare gli idrocarburi, oltre alle sostanze organiche di origine

vegetale, anche residui di sostanze animali. Essenzialmente si tratta di composti chimici binari costituiti da carbonio e idrogeno.

Ad eccezione della molecola CH_4 dell'idrocarburo più semplice, il metano, le molecole degli idrocarburi contengono due o più atomi di carbonio legati direttamente tra loro da legami semplici, doppi o tripli disposti in modo da formare una catena aperta, diritta o ramificata, oppure un anello o un sistema di anelli: le valenze di ciascun atomo di carbonio che non sono impegnate da altri atomi di carbonio sono saturate da altrettanti atomi di idrogeno.

L'importanza degli idrocarburi è enorme ed è di vario tipo. Le miscele di idrocarburi estratte dal petrolio e opportunamente elaborate costituiscono oggi la fonte di energia più importante, cui si affiancano gli idrocarburi gassosi naturali. Singoli idrocarburi allo stato puro, dal metano all'etilene, al propilene e al butadiene, sono, poi, i prodotti di partenza per la produzione industriale di moltissime sostanze organiche e di prodotti chimici svariati, delle materie plastiche e delle gomme sintetiche. Gli idrocarburi aromatici sono invece le materie prime per la produzione di coloranti, farmaci, esplosivi, insetticidi, e così via.

In natura gli idrocarburi possono presentarsi, in condizioni normali di temperatura e di pressione, allo stato gassoso (gas naturale), liquido (petrolio) e solido (asfalto, bitume).

La fonte di idrocarburi di gran lunga più importante è oggi il petrolio, dal quale si ottengono singoli idrocarburi attraverso processi di frazionamento ovvero attraverso adatte trasformazioni chimiche, subito seguito dal gas naturale.

Il petrolio

La denominazione "petrolio" deriva dal latino medievale *petroleum*, "olio di pietra". Il petrolio è costituito da una complessa miscela di idrocarburi naturali solidi, liquidi e gassosi (gas naturali), contenente, in quantità generalmente piccole, composti ossigenati, solforati e azotati, che si presenta a temperatura ambiente come un liquido più o meno denso, oleoso, infiammabile, di colore variabile dal giallastro al nero.

Viene estratto dal sottosuolo tramite pozzi ottenuti con trivellazioni che si spingono fin oltre gli 8.000 m profondità. Il prodotto estratto dai pozzi e non ancora raffinato è indicato come petrolio greggio o semplicemente greggio.

Il greggio viene sottoposto a lavorazione nelle raffinerie per ottenere una vasta gamma di prodotti destinati a svariati impieghi.

Il gas naturale

I gas naturali sono costituiti da idrocarburi a basso peso molecolare, aventi molecole formate al massimo da quattro atomi di carbonio con tracce di idrocarburi con cinque atomi di carbonio. In

questa miscela prevale il metano, un composto chimico di formula CH_4 , l'idrocarburo di struttura più semplice. A volte il metano costituisce la quasi totalità della frazione gassosa stratificatasi nella parte più alta dei giacimenti di petrolio, con cui si trova in questo caso associato; in molti casi, invece, il giacimento è costituito soltanto da gas naturale con piccole percentuali di azoto, biossido di carbonio e tracce di solfuro di idrogeno. Il gas naturale rappresenta in fase di utilizzo finale una forma di energia meno inquinante e più flessibile perché non necessita di stoccaggio e la rete di distribuzione garantisce continuità di fornitura.

Infatti, sulla spinta di una sempre crescente consapevolezza dei rischi ambientali legati ad un indiscriminato e non consapevole utilizzo delle risorse energetiche, incurante delle ripercussioni delle attività antropiche sull'ecosfera, il metano ha, in alcuni paesi, trovato applicazione sempre più crescente nell'industria e soprattutto nella generazione dell'energia elettrica. Ciò mediante l'utilizzo di impianti a ciclo combinato che bruciano gas per la generazione di energia elettrica con una turbina a gas, e utilizzano i residui ad alta temperatura della combustione per la produzione di vapore e altra energia elettrica, raggiungendo così rendimenti di conversione dell'energia termica in elettrica decisamente più elevati di quelli ottenuti nei classici cicli che utilizzano quale fonte primaria il carbone o i derivati del petrolio.

I suoi usi sono quindi praticamente identici a quelli del petrolio: come combustibile negli impianti industriali e nelle centrali termoelettriche, per i fornelli da cucina, gli scaldacqua, gli impianti di riscaldamento e in piccola misura nell'autotrazione.

Il nucleare da fissione

Questa fonte di energia ha rappresentato, negli anni dal 1960 al 1980, nell'immaginario collettivo, la speranza di una fonte quasi illimitata e a basso costo di energia per l'umanità intera. La produzione di energia elettrica in una centrale nucleare si basa sulla fissione dell'uranio o di altri elementi come il plutonio.

La fissione consiste nella scissione, per bombardamento con neutroni, degli atomi di uranio. Come prodotto della fissione si hanno dei frammenti, cioè elementi diversi della scala atomica, alcuni neutroni che servono a continuare la reazione a catena controllata, particelle e radiazioni elettromagnetiche. Quando però si vanno a fare i conti, la massa di tutti i prodotti della fissione è leggermente inferiore alla massa del nucleo di uranio da cui si era partiti, e quella quantità di massa che è apparentemente scomparsa si è trasformata in energia, misurabile secondo la famosa relazione di equivalenza tra massa e energia di Einstein $E = mc^2$; da un difetto di massa di un grammo si ottengono 25 milioni di kWh.

Il nucleare ricevette una notevole spinta allo sviluppo e all'applicazione subito dopo la fine della seconda guerra mondiale ed è ancora oggi una fonte energetica utilizzata massivamente.

2.2.3.2 Le fonti rinnovabili di energia

Quasi tutte le fonti di energia sul nostro pianeta hanno un'origine comune: l'irraggiamento solare; i combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) derivano dalla trasformazione di materiali organici che senza il processo di fotosintesi che trae energia dall'irraggiamento della nostra stella non avrebbero potuto formarsi. L'energia idroelettrica, che sfrutta le cadute d'acqua, non potrebbe esistere senza il ciclo evaporativo dell'acqua che, a sua volta, trae dall'irraggiamento solare l'energia necessaria. Senza il Sole, niente vento e niente energia eolica. Tutte le forme di energia sono a rigore rinnovabili, la differenza sta nella "velocità" con cui esse si riproducono: quelle fossili abbisognano di milioni di anni (in un breve spazio di qualche centinaio di anni stiamo consumando quelle la cui costituzione ha richiesto tempi geologici), le altre, che definiamo più propriamente "rinnovabili", hanno in rapporto alle precedenti una velocità o capacità di "rinnovo" praticamente infinita, come nel caso della radiazione solare, sfruttata mediante fotovoltaico, solare termico e eolico al momento in cui essa perviene sul pianeta, e delle maree, o quasi infinita, come nel caso dell'energia idroelettrica, dell'energia da biomasse, da correnti marine e moto ondoso. Oggi solo l'energia idroelettrica e quella da biomasse vengono sfruttate in maniera significativa, le altre sono in via di sviluppo e di maturazione tecnologica tendente a renderne i costi comparabili con quelli da fonti tradizionali. Le fonti rinnovabili, nel mondo, rappresentano circa il 18% delle fonti di energia totali con una prevalenza delle biomasse (il 13%, in larga misura costituite da biomasse tradizionali, cioè legna) e dell'idraulica (il 3%).

Energia eolica

Lo sfruttamento dell'energia cinetica associata alle masse d'aria in movimento che lambiscono la superficie terrestre, risale ad epoche lontanissime: i popoli antichi ne facevano uso per ricavare energia meccanica da usare per svariate applicazioni, quali: la macinazione dei cereali, il pompaggio dell'acqua, l'azionamento di segherie, cartiere, tintorie e altre.

Un generatore eolico, detto anche "aerogeneratore", è costituito da un rotore ad una o più pale posto in rotazione dall'energia cinetica del vento incidente; il suo movimento, attraverso organi di moltiplicazione e di trasmissione meccanica, perviene ad un dispositivo generatore di energia elettrica; tale energia viene immagazzinata in un accumulatore o immessa nella rete elettrica.

I sistemi più diffusi sono quelli con mozzo ad asse orizzontale. Un sostegno porta sulla sommità una "gondola" o navicella che contiene al suo interno: l'albero di trasmissione lento collegato al mozzo esterno alla navicella, il moltiplicatore di giri, l'albero veloce, il generatore elettrico e altri organi ausiliari come freni e limitatori di velocità.

Energia fotovoltaica

Fra le diverse tecnologie messe a punto per lo sfruttamento dell'energia solare, quella fotovoltaica è la più innovativa e promettente, a medio e lungo termine, in virtù delle sue caratteristiche di modularità, semplicità, affidabilità, ridotte esigenze di manutenzione, progresso tecnologico prevedibile.

Il processo di conversione fotovoltaica (FV) si basa sulla proprietà di alcuni materiali semiconduttori opportunamente trattati, come il silicio, di generare energia elettrica quando vengono esposti alla radiazione solare. La conversione della radiazione solare avviene nella cella fotovoltaica (un sandwich costituito da due lamine di materiale semiconduttore drogate da impurità di tipo diverso), con un rendimento del 13-17%. L'insieme di un numero adeguato di celle collegate elettricamente in serie forma un modulo fotovoltaico, componente elementare dei sistemi fotovoltaici; più moduli collegati in serie o in parallelo sono in grado di fornire la potenza richiesta dalle diverse applicazioni.

Energia da biomasse

La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi. Essa è costituita dalla materia organica, prevalentemente vegetale, sia spontanea che coltivata dall'uomo, prodotta per effetto del processo di fotosintesi clorofilliana con l'apporto dell'energia associata alla radiazione solare, di acqua e di svariate sostanze nutritive.

Le biomasse possono, quindi, essere costituite da: residui delle coltivazioni destinate all'alimentazione umana o animale (paglia di cereali, residui di potatura, etc.), o piante espressamente coltivate per scopi energetici e alimentari insieme (piante zuccherine, piante ricche in amidi, etc.). Altri importanti fonti di biomassa sono: residui dal campo forestale, scarti di attività industriali come i trucioli di legno, scarti delle aziende zootecniche o i rifiuti urbani. Le biomasse, a seconda del tipo e della composizione, possono essere bruciate per fornire calore, convertite in combustibile (metano, etanolo, metanolo, prodotti carboniosi) mediante l'impiego di microrganismi o l'azione di elevate temperature o di agenti chimici, oppure possono essere usate per la generazione di energia elettrica.

Un interessante combustibile derivato da biomassa è il biodiesel, utile per alimentare i motori diesel appunto. Pur costando tre volte il gasolio (sono però previste riduzioni dei costi a breve termine) è associabile a notevoli vantaggi sanitari e ambientali per le ridottissime emissioni nocive e la sua biodegradabilità. Ovviamente la biomassa quale combustibile per la generazione di elettricità sarà competitiva con la produzione tradizionale solo dove essa è abbondante e a buon mercato.

Energia solare termica

Comprende i sistemi che raccolgono e utilizzano l'energia del sole ricorrendo a dispositivi idonei alla concentrazione e accumulo dell'energia associata alla radiazione solare, cioè ad un collettore. L'energia raccolta viene utilizzata per riscaldare un liquido o l'aria con lo scopo di utilizzare il calore solare per produrre acqua calda, riscaldare edifici e altre applicazioni particolari (ad es. l'essiccazione del foraggio, la deumidificazione di ambienti ad occupazione saltuaria, etc.).

Energia geotermica

È l'energia termica presente nelle rocce e nei fluidi all'interno della crosta terrestre. Di norma essa si trova in forma dispersa a profondità troppo elevate per poter essere sfruttata industrialmente: bisogna, quindi, per una sua utilizzazione pratica, individuare le zone in cui essa si trova a profondità economicamente accessibili. Una volta estratta è usata direttamente per il riscaldamento o per alimentare processi industriali, oppure convertita in elettricità. Oltre ai sistemi in corso di sfruttamento, che utilizzano vapore e acqua, sono allo studio nuove tecnologie per convertire l'energia contenuta nei magmi e nelle rocce calde secche.

Energia idraulica

L'energia idroelettrica sfrutta il ciclo dell'acqua alimentato a sua volta dall'irraggiamento solare. L'energia cinetica delle cadute d'acqua viene, tramite turbine idrauliche, convertita in energia elettrica od utilizzata sotto forma di energia meccanica. Le tecnologie per lo sfruttamento di questa fonte sono sviluppate e affidabili, e si possono riferire a grandi o a piccoli impianti, ad acqua fluente o da serbatoi o bacini.

Energia dal mare

In linea di principio si può pensare di convertire almeno quattro tipi di energia presenti nel mare: dalle correnti, dalle onde, dalle maree, dal gradiente termico tra fondali e superficie. Attualmente esiste in Francia un impianto per sfruttare le maree, mentre sono in corso esperimenti per lo sfruttamento del potenziale energetico delle onde (Inghilterra e Giappone) e del gradiente termico e di salinità (Stati Uniti). Nel Mediterraneo questa fonte non rappresenta un potenziale reale, in quanto l'energia immagazzinata è enorme ma anche molto diffusa e quindi di difficile estrazione.

Sono attualmente in corso studi di fattibilità, nell'ambito dei programmi di ricerca europei, volti a

verificare la possibilità di utilizzare le correnti marine in prossimità delle coste.

Idrogeno e fuel cell

L'idrogeno possiede caratteristiche che lo rendono un vettore energetico² ideale per lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile, in quanto: il suo impatto ambientale è quasi nullo, infatti esso bruciando in aria produce acqua, secondo la reazione: $2H_2 + O_2 = 2H_2O + \text{calore}$; è producibile da più fonti energetiche primarie (fossili, rinnovabili, nucleare), tra loro intercambiabili e disponibili su larga scala, anche in futuro;

può essere distribuito in rete abbastanza agevolmente compatibilmente con gli usi finali e con lo sviluppo delle tecnologie di trasporto e di stoccaggio; Lo strumento che condiziona pesantemente la reale affermazione dell'idrogeno come vettore energetico pulito è senza dubbio la "cella a combustibile", o fuel cell, cioè un dispositivo elettrochimico che converte direttamente l'energia di un combustibile in elettricità e calore senza passare attraverso cicli termici, secondo la reazione: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \text{elettricità} + \text{calore}$.

In sostanza funziona in modo analogo ad una batteria, in quanto produce energia elettrica attraverso un processo elettrochimico, ma a differenza di quest'ultima, consuma sostanze provenienti dall'esterno ed è quindi in grado di funzionare senza interruzioni, finché al sistema viene fornito combustibile e ossidante (idrogeno e ossigeno).

2.2.3.3 Efficienza Energetica

Il Protocollo di Kyoto assegna all'Italia un obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra, da realizzarsi entro il 2012, del 6,5% rispetto ai livelli del 1990. In realtà nel nostro Paese le emissioni, invece di diminuire, sono aumentate del 13%, portando a circa il 20% la riduzione da realizzarsi da oggi al 2012. Gli aumenti più consistenti di emissioni hanno riguardato i trasporti (+27,5%) e la produzione di energia termoelettrica (+17%). Va osservato che per conseguire gli obiettivi di Kyoto si dovrebbe realizzare una riduzione del consumo di combustibili fossili tra il 15 e il 20%, con una conseguente riduzione della fattura energetica per il Paese di circa 5-7 miliardi di euro per anno. Viceversa, il mancato raggiungimento dell'obiettivo di riduzione di gas serra fissato nell'ambito del Protocollo comporterebbe per l'Italia, stante la situazione attuale, un esborso di 1,5 miliardi di euro l'anno, fra acquisti di diritti di emissioni e progetti di cooperazione per realizzare tali riduzioni all'estero. La complessità dei problemi energetico-ambientali, qui brevemente delineati, richiede un approccio sovranazionale e impone la necessità di sviluppare a livello internazionale (ed europeo in particolare) azioni congiunte in grado di armonizzare le politiche e gli strumenti di intervento, assicurando una cooperazione adeguata per lo sviluppo di attività di ricerca e di innovazione tecnologica.

Questo paragrafo disegna lo scenario del settore civile in termini di patrimonio edilizio e consumi energetici associati. Varrà la pena fissare attenzione sulla modesta qualità energetica dei nostri edifici e pensare al potenziale ambientale ed economico che la riqualificazione energetica potrebbe consentire, fermo restando che stretti criteri di controllo e penalità andranno adottati affinché almeno le nuove costruzioni rispettino gli standard prefissati.

Il calcolo della prestazione energetica dell'edificio

Il calcolo del fabbisogno termico degli edifici, secondo lo schema fissato dalla norma UNI EN ISO 13790, è recepito a livello nazionale con l'emanazione della norma UNI TS 11300-1 Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. Il calcolo dell'energia primaria e dei rendimenti di impianto in accordo con le varie norme EN approvate è recepito secondo la seconda parte della suddetta norma, avente per titolo "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria". La norma UNI EN ISO 13790 conferma la metodologia di bilancio mensile della UNI EN ISO 832 estendendola agli edifici non residenziali ed integrandola con metodi dinamici ed orari. Il recepimento delle UNITS consente di effettuare dei calcoli:

- di progetto, edifici di nuova costruzione;
- di valutazione, tipicamente per la certificazione energetica in condizioni standard;
- di diagnosi energetica.

La norma adotta una metodologia di calcolo per il fabbisogno energetico annuale, basata sull'ipotesi del regime stazionario in riferimento ai flussi termici in entrata ed uscita. Inoltre viene tenuto conto delle variazioni della temperatura esterna ed interna, e attraverso un fattore di utilizzazione si tiene conto degli effetti dinamici dovuti agli apporti solari ed apporti termici gratuiti interni.

Nel bilancio energetico vengono considerate quindi:

- a) le dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione che si hanno dall'ambiente interno verso quello esterno,
- b) le dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione o gli apporti gratuiti di calore con zone adiacenti,
- c) gli apporti di calore gratuiti interni,
- d) gli apporti di calore dovuti alla radiazione solare,
- e) le perdite che si hanno nel sistema di riscaldamento,

f) il fabbisogno energetico del sistema di riscaldamento.

Il fabbisogno di energia termica dello spazio riscaldato si calcola di seguito:

$$Q_h = Q_l - Q_g$$

dove:

Q_h è il valore mensile del fabbisogno di energia termica mensile;

Q_l è il contributo relativo alle dispersioni termiche;

Q_g è il contributo relativo agli apporti di calore gratuiti;

L'involucro edilizio

L'involucro, chiusura di un edificio, separa l'ambiente esterno e lo spazio costruito, caratterizzati da condizioni microclimatiche differenti e, al tempo stesso, definisce l'immagine dell'edificio nel contesto

urbano e territoriale. L'involucro edilizio dovrebbe teoricamente mantenere separato il regime termico interno da quello esterno, garantendo le condizioni di comfort per gli occupanti, obiettivo fisicamente di difficile realizzazione. Praticamente si richiede all'involucro di:

- minimizzare i consumi energetici in edifici climatizzati (riscaldamento e raffrescamento);
- minimizzare il numero di ore in cui si verificano condizioni di discomfort termico (stagione estiva in edifici non climatizzati);
- minimizzare il numero di ore in cui si è necessario fare ricorso all'illuminazione artificiale.

Il fabbisogno di energia netta, secondo le norme attuali è determinato proprio dalla capacità dell'involucro di limitare i flussi termici che lo interessano sia in estate che in inverno. Tali flussi possono essere entranti (apporti), il calore fluisce dall'esterno verso l'interno, oppure uscenti (dispersioni). Nel dettaglio si hanno:

- flussi termici nei due sensi (variabili nel giorno e nella stagione) per trasmissione attraverso componenti opachi e trasparenti verso l'esterno, verso il terreno, verso altri ambienti;
- guadagni solari attraverso i componenti trasparenti;
- flussi per ventilazione naturale o meccanica (variabili nel giorno e nella stagione);
- flussi termici per infiltrazione (variabili nel giorno e nella stagione).

Senza entrare nel dettaglio sull'evoluzione delle tecniche costruttive e gli approcci progettuali, vale la pena ricordare che i criteri del buon costruire in accordo con il clima e le funzioni dell'edificio sono noti da secoli, se non millenni. Già gli antichi greci, ed ancor più gli antichi romani, avevano codificato una sorta di approccio progettuale secondo il clima. Proteggere le esposizioni fredde, utilizzo della massa termica per ritardare i flussi termici, presenza di schermi ed aggetti per la protezione e lo schermo del sole nelle stagioni calde, l'utilizzo di camini e condotti verticali per sfruttare la ventilazione naturale. Per secoli l'architettura e l'edilizia sono state caratterizzate da una forte interazione con l'ambiente circostante. Si trattava spesso di architettura bioclimatica, sebbene il concetto sia stato codificato molto tempo dopo. Con il modernismo e l'industrializzazione proprie sono radicalmente cambiate le tecnologie e l'approccio alla progettazione architettonica, così come le esigenze di comfort per gli utenti e delle soluzioni affinché questo fosse garantito. Climatizzare ed illuminare gli ambienti in modo artificiale rende meno stringente il vincolo dell'ambiente esterno. Il contesto climatico diventa sempre più labile ed i consumi per gli edifici diventano la voce più importante negli usi finali di energia. Gli edifici tendono a perdere le peculiarità del contesto locale e nuovi materiali entrano in scena: acciaio e vetro, specialmente per edifici non residenziali. Le conseguenze energetiche ed ambientali sono bene note, ed in parte introdotte nel capitolo precedente.

Questo paragrafo presenta le principali caratteristiche dell'involucro edilizio in termini di: materiali, proprietà, prestazioni, funzioni; ordinate secondo le due tipologie principali di componenti: opachi e trasparenti.

I componenti opachi

Come detto, l'involucro edilizio determina la frontiera tra lo spazio costruito e l'ambiente esterno. Maggiore sarà la qualità del primo, minori saranno i consumi energetici necessari a garantire le condizioni di comfort per gli occupanti dell'edificio stesso. Ai fini di una corretta progettazione energetica dell'edificio è necessario quindi realizzare un involucro adeguatamente isolato ai fini di limitare le dispersioni per perdite termiche durante la fase invernale.

Accanto alla principale funzione di isolamento termico, i componenti opachi sono importanti anche durante la fase estiva anche se incidono in maniera minore e differente rispetto alle superfici trasparenti.

Ai fini della riduzione dei carichi di raffrescamento, o comunque di un accettabile microclima interno, i componenti opachi devono essere adeguatamente progettati in funzione

dell'inerzia termica, ovvero dello sfasamento temporale del flusso termico entrante dall'esterno verso l'interno. Anche le finiture superficiali esterne hanno un ruolo significativo, che si realizza nella capacità di riflettere la radiazione solare incidente riducendo l'incremento della temperatura delle superfici esterne dell'involucro.

Gli impianti di riscaldamento

Anche in climi moderatamente miti, come è mediamente quello italiano, più della metà degli usi finali di energia in edilizia sono dovuti al riscaldamento degli edifici nella stagione invernale. L'applicazione di

strategie e tecnologie ad elevata efficienza energetica per questa tipologia di uso energetico, è dunque fondamentale per ridurre i consumi di settore.

È importante ricordare la differenza sostanziale che si ha nell'affrontare la questione energetica in edifici di nuova costruzione o esistenti. Per i primi è semplice indirizzare la scelta verso soluzioni efficienti, in accordo con la normativa vigente. Più complesso è il problema in edifici esistenti, poco prestazionali in termini

di involucro e poco efficienti in termini di impianti installati. Tuttavia è proprio in questi casi che si può realizzare un notevole risparmio energetico ad impatto economico limitato, adottando tecnologie efficienti, affidabili e, spesso, poco intrusive.

L'obiettivo di questa sezione è, da questo punto di vista, duplice:

- illustrare le procedure per determinare l'efficienza energetica di un impianto di riscaldamento e di tutti i suoi sottosistemi;
- illustrare le tecnologie più efficienti, in grado di ottimizzare la prestazione energetica ed economica del sistema edificio-impianto.

Le specifiche tecniche di riferimento sono quelle attualmente vigenti in Italia per il calcolo dei fabbisogni e rendimenti di sistemi di riscaldamento, ovvero: UNI TS 11300 parte 2, e la UNI EN 15316 nelle sue varie parti.

I rendimenti dell'impianto termico

L'energia termica necessaria per sopperire al fabbisogno utile mensile Q_h degli ambienti da climatizzare è valutata a valle dei sistemi di produzione e distribuzione e risulta quindi, in termini progettuali, la quantità di energia che l'impianto deve garantire, per ciascuno dei mesi invernali, attraverso la fornitura di una adeguata potenza termica.

Durante le fasi di produzione e trasmissione del calore (produzione, distribuzione, emissione e regolazione), attraverso i componenti dei sistemi di climatizzazione parte dell'energia presente a monte del componente si disperde nell'ambiente.

Ciascun componente (ma è più corretto parlare di sistemi componenti) dell'impianto è quindi caratterizzato da un proprio rendimento. A monte dell'intero sistema è immessa energia primaria costituita sostanzialmente

dal combustibile, cui si aggiungono eventuali recuperi termici, e dall'energia elettrica per il funzionamento degli ausiliari d'impianto (pompe di circolazione, ventilatori, ...).

Il fabbisogno di energia primaria Q_{st} del sistema edificio-impianto, valutato annualmente in regime continuo sui mesi di riscaldamento n , risulta (qui e nel seguito del capitolo il fabbisogno energetico e le altre quantità di energia si intendono tutte espresse nella medesima unità di misura, J):

$$Q_{st} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} Q_{hj}}{\eta_g}$$

dove:

Q_{hj} = fabbisogno utile mensile degli ambienti da climatizzare relativo al jimo mese

Dall'analisi della formulazione del rendimento globale medio stagionale risulta quindi evidente come un valore basso anche di uno solo dei rendimenti delle componenti d'impianto abbatta pesantemente il valore del loro prodotto, anche a fronte di valori elevati degli altri rendimenti termici. Occorre porre la massima

attenzione in fase progettuale, operando scelte progettuali che garantiscano alta qualità di tutti i componenti dell'impianto termico. Nel caso poi di interventi su impianti esistenti, occorre valutare i singoli rendimenti attraverso una diagnosi energetica approfondita ed intervenire con soluzioni migliorative per correggere laddove si individuino valori troppo bassi, indici di elevate perdite energetiche. AI fini della semplice valutazione energetica per la certificazione, nel caso di edifici esistenti si può fare riferimento a valori precalcolati, da utilizzare però rigorosamente in esercizio standard e non di diagnosi. I rendimenti medi riferiti ad un periodo prefissato e calcolati in base alla norma UNI TS 11300 - 2 sono utilizzati unicamente

per quantificare il fabbisogno energetico mensile e stagionale dei sistemi di riscaldamento in accordo con quanto previsto dalla norma stessa.

Di seguito vengono analizzati singolarmente i rendimenti termici d'impianto, procedendo idealmente dall'ambiente climatizzato posto a valle dell'impianto, fino a monte della produzione termica. Per ciascun rendimento si riportano alcune considerazioni in merito ai fattori da cui esso dipende ed alla possibilità di incrementarne il valore medio stagionale.

Il rendimento di produzione relativo al sistema di generazione dell'energia termica è definito come rapporto tra l'energia termica fornita dal sistema di produzione ed immessa nella rete di distribuzione e il fabbisogno di energia primaria (comprensivo dei consumi di combustibile e di energia elettrica relativa agli ausiliari di caldaia e d'impianto).

Esso è funzione:

- della potenza della caldaia,
- del fattore di carico,
- delle perdite di combustione,
- delle perdite al mantello,
- delle perdite al camino a bruciatore spento,
- della potenza elettrica del bruciatore e delle pompe di circolazione,
- della condizione di installazione.

Il rendimento di produzione è definito relativamente ad un determinato periodo di tempo, e può quindi essere istantaneo, settimanale, mensile, stagionale,

$$\eta_p = \frac{Q_p}{Q}$$

dove:

η_p = rendimento di produzione,

Q_p = quantità di energia termica fornita dal sistema di produzione e immessa nella rete di distribuzione,

Q = fabbisogno di energia primaria = $Q_c + Q_e$,

Q_c = energia fornita sotto forma di combustibile nel periodo considerato, valutata convenzionalmente utilizzando il potere calorico inferiore (p.c.i) in quanto l'acqua contenuta nei prodotti della combustione si trova in genere sotto forma di vapore,

Q_e = energia elettrica fornita per l'azionamento del bruciatore, delle pompe di circolazione e degli ausiliari d'impianto nel periodo considerato.

La precedente relazione, si può esprimere anche con la seguente:

$$\eta_p = \frac{(Q_c + Q_e) - (Q_d + Q_f + Q_{fbs} + Q_{pre})}{(Q_c + Q_e)}$$

dove

Q_d = energia termica dispersa verso l'ambiente della CT attraverso l'involucro del generatore (mantello), nel periodo considerato,

Q_f = energia termica dispersa al camino attraverso i fumi a bruciatore acceso, nel periodo considerato,

Q_{fbs} = energia termica dispersa al camino attraverso i fumi a bruciatore spento, nel periodo considerato,

Q_{pre} = energia termica dispersa attraverso il prelavaggio del circuito fumi, nel periodo considerato.

Analizzando la relazione precedente si può comprendere come dalla riduzione delle energie disperse attraverso l'involucro, i fumi (a bruciatore acceso e spento) e nel prelavaggio del circuito dei fumi,

possa migliorare il rendimento di produzione; tuttavia questi fattori dipendono in modo pesante dalle caratteristiche costruttive del generatore di calore, per cui il progettista può intervenire solo attraverso

un'attenta scelta del generatore, del tipo di regolazione e del modello di conduzione.

Sono riportati nel seguito alcuni degli interventi che mirano al risparmio energetico attraverso il miglioramento del rendimento di produzione e, in particolare, attraverso la riduzione delle energie

disperse. Si propone quindi, sia in fase di progetto ex-novo dell'impianto, sia in fase di sostituzione del generatore di calore, di seguire le seguenti indicazioni tecniche.

Le tecnologie innovative a bassa temperatura lato utilizzazione.

I sistemi impiantistici che prevedono la regolazione della temperatura a livello locale, di singolo ambiente o di zona, necessitano di azionamenti che possano ridurre gli apporti termici all'ambiente riducendo la portata del fluido termovettore caldo agli elementi radianti. I sistemi di emissione tradizionali (radiatori e convettori) concentrano la cessione di calore all'ambiente in pochi punti che spesso sono localizzati, a seguito di altre esigenze impiantistiche, sacrificando l'ottimale distribuzione spaziale ai fini del benessere.

La concentrazione dell'emissione in pochi punti ha come conseguenza una minore omogeneità delle sensazioni di benessere. Tecnologie innovative in merito sono: Tali soluzioni impiantistiche prevedono l'installazione di:

1. battiscopa radianti,
2. pannelli radianti (sia per ambienti abitativi che industriali),
3. tubi radianti a soffitto (adatti per ambienti industriali).

Modalità di somministrazione della ventilazione

Come anticipato nell'introduzione diverse sono le modalità di somministrazione di aria esterna

all'interno dell'edificio.

In particolare si ha:

- Ventilazione forzata: la ventilazione forzata è generalmente obbligatoria negli edifici di grandi dimensioni, dove è richiesta una portata minima di aria esterna, per salvaguardare la salute e il comfort degli occupanti, e dove un sistema meccanico di estrazione è consigliabile e necessario. Gli infissi moderni hanno una tenuta molto elevata (7 m³/h/m² di superficie a 100 Pa, contro 20 degli infissi tradizionali); questo riduce la possibilità di infiltrazioni naturali e richiede la presenza di impianti di ventilazione forzata per mantenere un adeguato standard di qualità dell'aria interna.
- Ventilazione naturale: la ventilazione naturale attraverso l'apertura intenzionale di finestre, porte ecc. è causata dalla differenza di pressione dovuta al vento e alla differenza di temperatura fra interno ed esterno. Il flusso di aria esterna attraverso finestre, porte ed altre aperture specificamente progettate, può essere usato per fornire un'adeguata ventilazione per la diluizione di contaminanti e per il controllo delle temperature. L'apertura non intenzionale di porte e finestre può interferire con i percorsi d'aria previsti in sede di progetto, e provocare carichi termici maggiori di quelli previsti. Talvolta per ventilazione naturale si intendono anche le infiltrazioni, in questo caso le due cose vengono tenute distinte.
- Infiltrazioni: le infiltrazioni sono costituite da un flusso d'aria incontrollato attraverso aperture non previste (fessure, infissi non chiusi o difettosi ecc.), provocato da differenze di pressione dovute al vento, alle differenze di temperatura, e agli apparecchi di ventilazione forzata installati. Le infiltrazioni sono meno affidabili per garantire un adeguato ricambio d'aria, poiché dipendono dalle condizioni atmosferiche, e dalla localizzazione delle aperture.

Comunque le infiltrazioni possono costituire la maggior parte dell'ammontare dei ricambi d'aria negli edifici con una forma caratterizzata da elevati valori di S/V.

Illuminazione artificiale

Le condizioni di illuminazione degli spazi dove si svolgono le attività dell'uomo ne influenzano il comportamento ed il benessere: la corretta illuminazione degli spazi migliora la qualità della vita ed è l'obiettivo di tutti gli studi e di tutte le norme e regole di progettazione elaborate nel campo delle tecniche di illuminazione sia naturale che artificiale.

La progettazione dell'illuminazione è parte integrante del progetto generale dello spazio costruito.

La progettazione dell'illuminazione agisce, infatti, ad un livello complesso nella vita dell'edificio: oltre a garantire gli standard di illuminazione richiesti, interagisce con la progettazione delle facciate e con la distribuzione degli spazi interni, provvede a garantire la positiva interazione tra

l'uomo, lo spazio costruito e l'ambiente esterno, determina, oltre che i carichi elettrici, anche i carichi termici per la climatizzazione estiva ed invernale.

Progettare una buona illuminazione, sia naturale che artificiale, richiede la conoscenza di diverse nozioni che riguardano, da una parte la conoscenza del movimento apparente del sole sulla sfera celeste e di alcune caratteristiche proprie della luce, dall'altra alcuni dati e prestazioni propri delle lampade e degli apparecchi illuminanti. A questi aspetti vanno poi sommate altre esigenze dettate dal carattere funzionale del progetto

e dai fattori di stile, di gestione degli spazi, di impatto ambientale, di sicurezza e non meno importante dal fattore economico.

L'importanza dell'illuminazione nello spazio costruito è condizionante, quindi, tanto per i consumi energetici che per il benessere visivo e la salute per gli utenti.

Una progettazione consapevole dell'illuminazione naturale e di quella artificiale, la scelta dei componenti, il dimensionamento e la gestione dell'impianto consente risparmi di energia elettrica e, contemporaneamente,

garantisce le condizioni di benessere visivo per l'utente.

Pur non esistendo dati certi sui consumi energetici negli edifici per illuminazione, stime ragionevoli portano però a concludere che il consumo energetico per l'illuminazione domestica è valutabile tra il 15 e il 20% dei consumi elettrici domestici complessivi. La voce energetica corrispondente all'illuminazione domestica costituirebbe il 4,5% dei consumi finali di energia elettrica nazionali.

Dati ancora più incerti sono disponibili sul costo energetico nel terziario: alcuni studi internazionali, tuttavia, fissano intorno al 25% l'influenza dei consumi elettrici dovuta all'illuminazione artificiale rispetto a quelli elettrici complessivi del settore.

Le sorgenti luminose artificiali

In questo paragrafo sono presentati i componenti principali del sistema di illuminazione artificiale e di alcuni relativi modi di classificazione.

Tipi di lampade

Le lampade usate nella pratica comune e sono suddivisibili in due classi principali:

- lampade ad incandescenza
- lampade a scarica

Efficienza e classificazione delle lampade

L'efficienza luminosa \bar{A} (lumen/W) è la grandezza più importante per il consumo energetico; essa dipende da due fattori:

— la distribuzione spettrale della radiazione in relazione alla curva di sensibilità spettrale dell'occhio umano, la percentuale di potenza elettrica realmente convertita in radiazione visibile.

L'efficienza delle sorgenti luminose è una grandezza funzione non lineare della temperatura (declassamento alle alte e alle basse temperature) e muta nel corso della loro vita: ciò significa che pur assorbendo la stessa potenza elettrica non viene più emessa la quantità nominale di flusso luminoso. Valori tipici di efficienza luminosa sono i seguenti: sorgenti che emettono radiazioni distribuite in buona parte nella gamma del visibile: da 8 a 19 lm/W lampade ad incandescenza, fino a 100 lm/W lampade a vapori di alogenuri; per

le sorgenti luminose con emissione monocromatica: lampade al sodio a bassa pressione 170 lm/W.

La classificazione prevede sette classi di efficienza alle quali vengono assegnate le lampade ad uso domestico. La classe A sta per "Altamente efficiente" e G per "Poco efficiente".

Ecco alcuni esempi di classificazione:

- lampade fluorescenti e lampade a risparmio di energia: classi A e B
- lampade ad alogeni: prevalentemente classe D
- lampade ad incandescenza: soprattutto classi E e F.

Sistemi di controllo degli edifici e la domotica.

Una delle caratteristiche principali degli edifici sostenibili è costituita dalla loro efficienza energetica, ottenuta in genere per mezzo del ricorso a tipologie impiantistiche avanzate e alla loro integrazione con sistemi che sfruttano le fonti energetiche rinnovabili e/o i fenomeni naturali, quali, per esempio, la ventilazione o l'illuminazione naturale. Questa tipologia di impianti prevede, molto spesso, una forte integrazione dell'impianto nell'involucro stesso dell'edificio. Ciò richiede che la progettazione del sistema edificio-impianto-sistema di controllo avvenga non per passi successivi, come spesso avviene negli edifici tradizionali, ma con stretta e frequente collaborazione tra i diversi protagonisti coinvolti: architetti, impiantisti, esperti del sistema di controllo.

Un efficiente sistema di controllo dell'impianto di climatizzazione e dell'ambiente interno di un edificio è spesso prerequisito essenziale per ottenerne l'efficienza energetica e di conseguenza la sostenibilità: un edificio non convenzionale deve essere dotato di un sistema di gestione e controllo (BEMS, Building Energy Management System) esemplare, in grado cioè di gestire funzioni complesse che, come

vedremo, possono portare a requisiti diversi e talvolta addirittura contrapposti.

Uno degli aspetti più complessi nella progettazione di un BEMS di un edificio è consentire

l'interazione da parte dell'utente con i sistemi di climatizzazione, senza compromettere il buon funzionamento generale dei sistemi energetici.

L'impossibilità di modificare le condizioni ambientali è spesso percepito come una limitazione della libertà personale, influenza l'accettazione da parte degli utenti e ingenera la maggior parte delle lamentele.

Ricerche recenti hanno mostrato che gli utenti sono più tolleranti verso condizioni ambientali non perfette, se queste possono essere in qualche modo controllate da loro stessi, aprendo una finestra, azionando un ventilatore, cambiando un setpoint di un termostato o modificando la posizione di uno schermo frangisole.

Sebbene agli utenti debba quindi essere concesso un elevato grado di controllo del proprio ambiente, il ricorso ad un sistema di controllo automatico rimane tuttavia necessario, sia per suggerire all'utente il corretto mix di regolazioni, sia per gestire l'edificio nelle ore in cui non è utilizzato (per esempio di notte o nei weekend, nel caso degli uffici), onde ridurre i consumi energetici e preparare le condizioni ottimali per quando l'edificio torni ad essere occupato.

La semplicità e la trasparenza dell'interfaccia fra l'utente e il sistema è di grande importanza: una delle richieste principali da parte degli utenti è che il sistema di controllo corrisponda alle loro necessità e

consenta di modificare, con una risposta rapida, le condizioni ambientali qualora ritenute non soddisfacenti.

Sistemi di controllo collegati a sistemi di visualizzazione giocano un ruolo importante nel fornire all'utente una misura oggettiva delle condizioni ambientali, sia in termini di campo termico che di consumi energetici in atto che di qualità dell'aria.

I parametri misurati (temperatura, consumo, qualità dell'aria) dovrebbero essere continuamente esposti e confrontati con valori di riferimento ottimali: in questo modo questi sistemi potrebbero risultare molto efficaci nello scoraggiare l'uso improprio dei sistemi di climatizzazione e ventilazione.

Le pompe di calore

La pompa di calore è una macchina che, utilizzando energia meccanica o termica, trasporta calore da un corpo più freddo ad un corpo più caldo. Si parla in generale di frigorifero o raffrescatore quando l'effetto

mirato è la sottrazione di calore da fluidi o da ambienti "freddi", e di pompa di calore quando l'effetto mirato è il riscaldamento di fluidi o di ambienti "caldi". In realtà si parla della stessa macchina, che basa il suo principio di funzionamento sul ciclo di Rankine inverso, che può operare quindi come un raffrescatore o come una pompa di calore, oppure simultaneamente in entrambi i

modi. In base alla modalità di funzionamento, le pompe di calore possono essere suddivise in due gruppi principali:

1. a compressione di vapore saturo,
2. ad assorbimento.

Le pompe di calore si distinguono in funzione delle tipologie di sorgenti che vengono utilizzate. I principali accoppiamenti sono: aria – acqua; aria – aria; acqua – acqua; acqua – aria.

L'aria come sorgente fredda ha il vantaggio di essere disponibile ovunque, tuttavia la potenza resa dalla pompa di calore diminuisce con la temperatura della sorgente.

Nel caso si utilizzi l'aria esterna, è necessario (intorno a 0 °C) un sistema di sbrinamento che comporta un ulteriore consumo di energia. Diverso e più vantaggioso è l'impiego come sorgente fredda dell'aria interna viziata (aria estratta), che deve essere comunque rinnovata.

L'acqua come sorgente fredda garantisce le prestazioni della pompa di calore senza risentire delle condizioni climatiche esterne, tuttavia richiede un costo addizionale dovuto al sistema di adduzione.

Il terreno come sorgente fredda garantisce ottime prestazioni alla pompa di calore. Infatti alla profondità di 10 metri circa il terreno presenta una temperatura costante tutto l'anno, che oscilla dai 12 ai 14 gradi centigradi; infatti a queste profondità le condizioni climatiche esterne non influiscono sulle condizioni termiche del sottosuolo. In questo contesto tecnologico risulta essere importante l'analisi del sottosuolo in riferimento alle diverse stratigrafie presenti e della presenza o meno di falde acquifere, per il giusto dimensionamento delle sonde geotermiche e della pompa di calore che gestirà termicamente gli spazi dell'edificio.

Cogenerazione e generazione distribuita

Quando alla fine del diciannovesimo secolo cominciarono ad essere realizzati i primi generatori e le prime reti elettriche si contrapponevano i seguenti approcci antitetici: generazione centralizzata o distribuita; produzione di corrente alternata o continua. In entrambi i casi, la scelta presentava pro e contro importanti. Lo sviluppo della produzione energetica testimonia la scelta per le due prime soluzioni.

La prima influenzata anche dagli aspetti autorizzativi, la seconda da considerazioni tecniche (facilità di produzione e, soprattutto, di trasformazione di tensione).

Nel seguito la soluzione centralizzata ha avuto vita facile, favorita dalle logiche monopoliste, che hanno consentito l'elettrificazione estesa dei paesi industrializzati, e dai vantaggiosi prezzi dei combustibili fossili. La generazione distribuita si è dimostrata idonea ad essere applicata, quando le

regole lo hanno consentito. È il caso in Italia della Legge 308/82 ed inseguito della Legge 10/91 e dei collegati programmi di incentivazione, che hanno portato alla realizzazione di impianti di cogenerazione nei comparti più favorevoli:

cartario, chimico, produzione di laterizi e, nell'ambito civile, l'ospedaliero.

Oggi i decreti per il recepimento della direttiva sui servizi energetici della direttiva sulla promozione della cogenerazione, nonché alcuni disposti dei decreti 192/05 e 311/06 in materia di teleriscaldamento, danno nuovo impulso all'applicazione di tecnologie di generazione distribuita.

Fra i benefici indotti dalla produzione decentrata si possono annoverare, per le fonti convenzionali:

- l'aumento dell'efficienza di utilizzo delle fonti primarie e i conseguenti vantaggi ambientali (rendimenti medi complessivi, in presenza di utilizzo del calore, del 70-90%);
- la riduzione dei flussi elettrici sulle reti di trasporto e distribuzione (le perdite di rete si aggirano intorno al 7% nel nostro Paese, di cui un 5% circa attribuibili alla distribuzione);
- una semplificazione relativamente all'ottenimento

delle autorizzazioni ed agli aspetti legati all'accettazione locale;

1. una maggiore sicurezza relativamente al rischio di attentati;
2. il miglioramento dell'affidabilità della fornitura in termini di continuità e power quality;
3. l'aumento della stabilità per le reti congestionate.

Le ultime due ipotesi presuppongono una sinergia fra gli impianti e le reti di distribuzione, che passi attraverso l'utilizzo di idonee protezioni e interconnessioni e che preveda una progettazione delle reti ad

hoc.

La cogenerazione

La cogenerazione è essenzialmente la generazione combinata di energia termica e di energia elettrica. Le due energie vengono prodotte contemporaneamente con un unico impianto: per questo motivo, rispetto alla produzione separata, si hanno consistenti valori di risparmio energetico

e di abbattimento delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera e quindi si favorisce la diminuzione del cosiddetto effetto serra.

Applicazioni: il teleriscaldamento

Per teleriscaldamento s'intende un sistema che produce calore in un sito lontano attraverso un'apposita rete di trasporto e di distribuzione. Si parla di riscaldamento urbano quando l'utenza dell'impianto di teleriscaldamento riguarda una città o parte di essa, qualunque sia la sua estensione. Il riscaldamento urbano può essere garantito da una centrale di riscaldamento, cioè da un'installazione che produce esclusivamente calore, ma sempre più spesso è combinata con una

produzione congiunta di energia elettrica e calore, in tal caso si parla di cogenerazione urbana.

La micro cogenerazione

La microcogenerazione risulta essere una delle soluzioni applicabili per conseguire il risparmio energetico così come stabilito dal Protocollo di Kyoto del 1997 e con quanto prefissato in sede di Unione Europea.

Infatti, il risparmio energetico, inteso come recupero di efficienza negli usi finali, nonché attraverso la messa a punto di sistemi di produzione di energia caratterizzati da un indice di efficienza ottimale ed a basso impatto ambientale, è diventato l'obiettivo principale da perseguire per i maggiori paesi industrializzati.

Per microcogenerazione si intende quella parte degli impianti di cogenerazione che forniscono potenze elettriche nominali inferiori al MWe. In realtà non è possibile stabilire un'unica definizione del termine

per cui spesso si definiscono come microcogenerativi gli impianti al di sotto del 200-300 kWe, così come è avvenuto nei Paesi ove maggiormente hanno trovato diffusione gli impianti di piccola taglia.

A rigore di logica la micro cogenerazione è in grado di soddisfare un fabbisogno energetico locale; per tale motivo con gli impianti di piccola taglia non è prioritario produrre energia elettrica, ma piuttosto calore. In ogni caso nulla vieta di seguire i carichi elettrici e accumulare l'eventuale calore in eccesso, anche se parlare di accumulo diventa molto costoso.

La convenienza economica si ha se si copre un carico base con intero autoconsumo di calore ed energia elettrica; l'eventuale maggiore richiesta di calore può essere prodotto con caldaie, che funzionano anche da supporto se l'impianto produce insieme calore e elettricità con la microcogenerazione, direttamente presso l'utenza, in estrema sintesi comporta i seguenti grandi vantaggi:

- risparmiare energia primaria, nell'ordine del 35-40%, diminuendo i costi energetici.

Il risparmio energetico, in un paese come l'Italia, grande importatore di energia, è la prima fonte strategica di approvvigionamento;

- salvaguardare l'ambiente, emettendo in atmosfera una notevole quantità di anidride carbonica in meno;

- mancanza di perdite di distribuzione del calore dato che viene utilizzato in loco;

- mancanza di perdite di distribuzione nell'energia elettrica che viene inviata direttamente nelle linee a Bassa Tensione;

- limitazione delle cadute di tensione sulle linee finali di utenza;

- nessuna necessità di costruire grandi locali appositi;

— limitazione della posa di linee elettriche interrato o tralicci, a parità di risultati.

La trigenerazione

Numerose attività industriali e quasi tutto il settore terziario, ma non solo, hanno la necessità di dover utilizzare quantità non trascurabili di energia frigorifera, di processo e/o per la climatizzazione, cui normalmente si fa fronte utilizzando macchine frigorifere tradizionali alimentate con energia elettrica.

Le macchine frigorifere con alimentazione diversa da quella elettrica sono i chiller ad assorbimento, che hanno un vastissimo campo di applicazione e che funzionano sia con alimentazione a fiamma diretta che con l'utilizzo di altre sorgenti di calore disponibile consentendo, nei confronti dei gruppi frigoriferi con alimentazione elettrica, non trascurabili vantaggi economici.

2.2.3 Acqua

E' universalmente noto che anche questa risorsa, a causa del degrado ambientale, si sta progressivamente deteriorando, causando notevoli danni sia alle popolazioni che al territorio.

Una corretta gestione dell'acqua può garantire notevoli guadagni in termini di emissioni di biossido di carbonio, e quindi di energia utilizzata, ed in termini di tutela idrogeologica del territorio e della risorsa stessa.

La *telegestione della rete*, la *permeabilizzazione* dei pavimenti, la *raccolta delle acque piovane*, il riutilizzo delle acque reflue, la *fitodepurazione* e la creazione di *biotopi* sono obiettivi fondamentali del piano, rappresentano le migliori pratiche per la gestione sostenibile del territorio da parte della PA. Nella sfera di competenza della PA rientra anche la gestione delle reti idriche. In Italia, lo stato di conservazione delle reti idriche è disastroso; ad oggi si registrano perdite dell'ordine del 45-50%, quantificabili in circa tre miliardi di metri cubi di acqua all'anno. Per ovviare a questo problema è necessario investire nell'efficienza gestionale dell'acquedotto e quindi una rete dotata di piccolissime maglie chiuse che consentono un monitoraggio ottimale della rete ed un pronto intervento in caso di segnalazione di perdite da parte del sistema di telegestione, come ad esempio robot telecomandati che riescono facilmente a riparare o sostituire tubature deteriorate o danneggiate.

D'altra parte l'urbanizzazione è la principale causa di deterioramento della falde acquifere proprio a causa di materiali come l'asfalto o il cemento che rendono assolutamente impermeabili le superfici, impedendo così il naturale deflusso delle acque piovane che alimentano le falde al di sotto dei terreni cittadini. La presenza di adeguata vegetazione nel terreno permeabile svolge un'azione depurativa che riduce di molto i rischi che eventuali agenti inquinanti presenti in superficie possano, percolando, raggiungere le falde sotterranee. Il ricorso a pavimentazioni permeabili è facilmente adattabile a piazze, parcheggi, vialetti, cortili e impianti sportivi.

Per quanto riguarda la gestione del ciclo integrato delle acque all'interno degli edifici, il primo fondamentale passo da effettuare è quello di prevedere la realizzazione di una rete duale, più

costosa di una classica rete mista ma sicuramente più efficiente; anche se, in ambito urbano, negli ultimi tempi si è preferito costruire sistemi misti, a causa dei sempre maggiori carichi inquinanti che risiedono nelle acque pluviali, la separazione delle acque bianche da quelle nere è l'unico modello possibile per riutilizzare l'acqua piovana e quella raccolta dalle cucine, dalle docce e dagli scarichi non inquinanti.

Le superfici che più si prestano al recupero dell'acqua piovana sono quelle dei tetti, soprattutto se realizzati con materiali che non rilasciano residui tossici. In ogni caso andrebbe evitata la raccolta delle acque di prima pioggia, spesso ricca d'impurità: allo scopo è possibile adottare dei separatori automatici delle prime acque meteoriche.

Tutti questi sistemi adottati sarebbero assolutamente inefficaci se non fosse previsto un adeguato impianto di raccolta di dimensione tale da gestire il ciclo di tutta l'area urbana, che però è anch'esso di esclusiva competenza della PA. Il metodo più efficace è sicuramente la creazione di Biotopi, piccoli ecosistemi localizzabili in bacini artificiali o naturali, che consentono la depurazione naturale delle acque, necessaria per il riutilizzo della risorsa stessa. L'utilizzo di questi corpi idrici per realizzare sistemi di depurazione naturale è più che auspicabile, soprattutto alla luce del fatto che si avrebbero notevoli risparmi nei costi di costruzione e gestione sia della rete fognaria, che dovrebbe canalizzare una quantità d'acqua irrisoria, sia dell'impianto di depurazione, che dovrebbe sopportare carichi notevolmente inferiori alla media.

Vale la pena di soffermarsi brevemente sulla *fitodepurazione*, il meccanismo naturale che si mette in moto all'interno dei *biotopi*.

La fitodepurazione è una forma di depurazione che utilizza vegetali in alternativa ai tradizionali sistemi basati su microrganismi o su reazioni chimiche. Le piante hanno una notevole capacità di assorbire ed utilizzare alcuni elementi, anche se poco concentrati, impedendo loro di pervenire ai corpi d'acqua superficiali o sotterranei e di inquinarli: tipico il caso del fosforo e di alcuni composti dell'azoto, quali i nitrati. La principale differenza tra i processi depurativi che utilizzano piante e quelli che utilizzano microrganismi risiede nel fatto che questi ultimi possono digerire molecole organiche anche molto complesse trasformandole in acqua, anidride carbonica ed altri elementi non pericolosi. Le piante invece non operano a livello di molecole ma solo di elementi che assorbono ed utilizzano per la costruzione di composti più o meno complessi. D'altro canto le piante favoriscono la vita dei microrganismi del suolo che possono attaccare e spesso rendere innocui buona parte degli inquinanti organici. Negli habitat naturali costruiti per i trattamenti di fitodepurazione hanno modo di svilupparsi particolari piante che, a seconda della specie e delle caratteristiche, permettono di realizzare diversi sistemi operativi. La fitodepurazione viene normalmente attuata tramite vassoi assorbenti che sono costituiti da un bacino a tenuta stagna a fondo orizzontale, con ciottoli nella parte inferiore e terra di coltivo nella parte superiore. In superficie vengono piantati arbusti a foglia persistente, di preferenza, o qualsiasi altra vegetazione avida di acqua.

Attualmente, la tecnologia appare matura per consentire uno sviluppo industriale di tali sistemi in diversi ambiti di applicazione su piccola, media e grande scala, soprattutto per il trattamento dei reflui civili, ma anche per il trattamento dei reflui di origine industriale. Le numerose esperienze condotte sia all'estero che in Italia, hanno confermato la validità di questi

sistemi nel trattamento dei reflui e la loro capacità di raggiungere appropriati livelli di abbattimento degli inquinanti, paragonabili a quelli ottenibili con impianti tradizionali. Inoltre presentano notevoli vantaggi che contribuiscono a migliorarne le qualità ambientali ed economiche.

Uno degli aspetti di maggior rilievo, anche a fronte della crescente attenzione a queste problematiche, è rappresentato dal basso impatto sull'ambiente. I sistemi di fitodepurazione si inseriscono nel contesto ambientale in modo non invasivo, spesso contribuiscono alla riqualificazione paesaggistica e non incidono negativamente sul paesaggio in aree ad alta valenza ambientale. Inoltre, questi sistemi richiedono un limitato apporto energetico, imputabile esclusivamente all'alimentazione del sistema di distribuzione del refluo, consentendo in tal modo risparmi energetici dal 40% al 75% rispetto ai sistemi tradizionali.

Un ulteriore aspetto positivo è rappresentato dalla semplificazione delle operazioni di gestione. Ciò incide sull'affidabilità complessiva del sistema, nonché sui costi ad esso associati. Questo appare di notevole interesse con particolare riferimento alle piccole utenze. I limitati costi di gestione si riflettono sul costo complessivo della tecnologia.

Da recenti indagini sui costi della depurazione secondaria con tecnologie tradizionali o con sistemi di fitodepurazione, è stato possibile evidenziare come, nonostante i maggiori costi iniziali, un impianto di fitodepurazione, nel mediolungo periodo, comporti un risparmio complessivo di risorse finanziarie.

Il refluo subisce poi un'azione depurativa ad opera di organismi viventi di vario tipo come alghe, batteri e macrofite che, alimentandosi, demoliscono o assorbono le sostanze inquinanti. I meccanismi depurativi consistono quindi nella sedimentazione, nel filtraggio di particolari sostanze e nell'assorbimento dei nutrienti da parte delle macrofite, tramite un'attività microbiologica che si sviluppa nell'acqua, nel substrato del terreno e sulla superficie delle piante.

Per lo scarico dell'effluente è fondamentale la realizzazione di deflettori immersi per limitare il deflusso di solidi galleggianti, di una tubazione con funzione di troppo pieno ed una per lo svuotamento totale dello stagno. Il lagunaggio è un trattamento estensivo che necessita di superfici molto ampie (da 2 a 4 m²/A.E. (abitanti equivalenti)), presenta molti vantaggi per la capacità di sopportare temporanei sovraccarichi inquinanti ed i bassi costi di gestione ed è indicato soprattutto per comunità fino a qualche migliaio di abitanti, in climi caldi o temperati.

La fitodepurazione può però dare problemi di odori e di insetti; per questo sono previste distanze di rispetto dal centro abitato diverse a seconda del tipo di stagno; si consigliano valori di 500 m. per gli anaerobici, 200 m. per gli aerati. Per quanto riguarda il problema dello smaltimento dei fanghi, data la loro alta mineralizzazione e la scarsa carica batterica, possono essere utilizzati in agricoltura come ammendante, evitandone l'uso solo nelle colture a prevalente scopo alimentare, o alternativamente farle confluire nei digestori anaerobici per il trattamento dei rifiuti, qualora siano previsti dall'Amministrazione Locale.

Tutte queste azioni porterebbero inevitabilmente ad una riduzione notevole dei costi di gestione dell'area, questa volta dovuti all'enorme quantità d'acqua che verrebbe risparmiata con il riutilizzo delle acque bianche e grigie-depurate; questo risparmio è stimato tra il 30% ed il 60% dei consumi complessivi di un sistema di gestione delle acque convenzionale.

2.2.4 Rifiuti

La gestione dei rifiuti riveste un ruolo significativo nella definizione di una strategia ambientale sostenibile. I modelli di gestione integrata dei rifiuti si pongono come obiettivo non solo la prevenzione e la riduzione dell'impatto ambientale connesso al ciclo di gestione, ma anche il miglioramento complessivo del sistema "uomo-ambiente" ed un uso più sostenibile delle risorse. La riduzione della produzione dei rifiuti e della loro pericolosità costituisce un elemento fondamentale della politica integrata dei prodotti, ma urgono in ogni caso azioni che incoraggino il riciclaggio e il recupero dei rifiuti.

Come per altre grandi tematiche ambientali, la complessità delle problematiche connesse alla gestione dei rifiuti si traduce nell'estrema differenziazione delle tecnologie in campo.

Le potenzialità espresse dal sistema Italia possono essere distinte in due macrocategorie:

- tecnologie finalizzate al miglioramento del controllo complessivo del sistema e della *governance* ambientale del territorio;
- tecnologie finalizzate al miglioramento dell'efficienza economico-ambientale dei cicli di gestione di rifiuti sia urbani che speciali.

La seconda macrocategoria può essere ulteriormente articolata in:

- tecnologie finalizzate al miglioramento della gestione dei sistemi di raccolta;
- tecnologie di recupero/riciclaggio, comprensive di quelle relative alla minimizzazione dei rifiuti prodotti dall'industria manifatturiera;
- tecnologie (ed impiantistica) di trattamento/smaltimento di rifiuti urbani e speciali, comprensive di quelle connesse ai sistemi di controllo/monitoraggio degli impianti.

2.2.5 Mobilità

Gli ultimi dieci anni hanno visto il veloce sviluppo di una tecnologia, quella dei veicoli ibridi, che si è progressivamente imposta come una delle maggiori innovazioni nel settore della mobilità individuale. I contemporanei sviluppi della tecnologia dei sistemi di accumulo elettrico, con lo sviluppo delle batterie al litio, hanno poi rivitalizzato anche il settore dei veicoli elettrici, le cui prestazioni, soprattutto in termini di autonomia, sono finalmente cresciute a livelli tali da soddisfare un'ampia serie di esigenze, dal trasporto merci "porta a porta" a quello dei servizi ad alcune nicchie del trasporto pubblico.

2.3 Strumenti di valutazione per la Città Sostenibile

Prima di elaborare un progetto urbano a sfondo ambientale va effettuato un quadro delle misure esistenti, della situazione e del contesto socio-ambientale in cui si opera, ed, in base ai dati forniti

dall'analisi quantitativa legata alle esigenze del sistema, è necessario definire in un secondo tempo gli obiettivi centrali del progetto e fissare le azioni concrete da intraprendere. Infine si assegnano precise responsabilità ad ognuna delle parti in causa.

All'attuazione degli interventi dovrebbe seguire un'attività di monitoraggio, che consenta di correggere gli errori in corso, di imparare a capitalizzare le esperienze positive di favorirne la riproducibilità sia nella stessa città che in altre aree.

Negli ultimi anni si stanno moltiplicando gli strumenti di supporto alla valutazione di trasformazioni urbane per risolvere il problema di quantificare il vantaggio ottenuto attraverso questo tipo di approccio. Inoltre, grazie allo sviluppo di istituzioni come la *borsa dell'energia*, e di meccanismi come *l'emission trading* ed i *certificati verdi*, è possibile monetizzare il risparmio ottenuto in termini di emissioni di CO₂ e la produzione di tonnellate equivalenti di petrolio di energia con fonti rinnovabili.

Per una scelta oggettiva tra le possibili alternative in materia di sviluppo sostenibile occorrerebbe una valutazione continua che metta a fuoco costi e benefici delle innovazioni tecnologiche e delle migliori pratiche lungo tutto il ciclo di vita dei manufatti, dalla produzione alla loro distribuzione, alla riconversione (riciclo, riuso) ed al trattamento relativo ai diversi impianti disponibili.

Nel caso delle FER, in attesa che la produzione industriale di massa le renda competitive anche dal punto di vista finanziaria, il costo complessivo (ecologico e sociale) evitato con le nuove tecnologie che utilizzano le fonti rinnovabili si configura come la categoria generale con la quale esprimere i benefici. Esso compensa i costi di produzione che al momento, nella maggior parte dei casi, non sono ancora concorrenziali.

Comunque anche le valutazioni relative alla concorrenzialità dei costi economici di produzione sono destinati nel tempo a modificarsi sostanzialmente in favore delle fonti energetiche rinnovabili.

Se, infatti, ad esempio si ipotizza, com'è ragionevole, un incremento del prezzo di mercato del metano/carbone/petrolio nei prossimi anni del 5 - 7% annuo, a causa dell'incremento della domanda complessiva e della progressiva scarsità di offerta e, nel contempo, se si prevede una riduzione dei costi di produzione dell'energia elettrica con la tecnologia fotovoltaica, del 5 - 6% all'anno, ne deriva che il costo di produzione si modifica profondamente.

Se si prevedono invece variazioni più drastiche nel prezzo dei combustibili tradizionali, è ragionevole immaginare l'introduzione accelerata di nuove tecnologie (nanotecnologie, elettrolisi ad alta temperatura, nuovi materiali) che anticipano la convenienza di usare le energie rinnovabili così come sarà importante incrementare la già florida economia industriale delle FER.

Una volta il criterio di valutazione dell'investimento in campo energetico era limitato al confronto e, quindi, alla minimizzazione dei costi, assumendo certi standard prestazionali e certi vincoli di

qualità ambientale.

Oggi questi vincoli sono considerati, dato il loro “peso”, come veri e propri criteri. I criteri di valutazione sono, dunque, rappresentati da:

- riduzione dei costi (di produzione, di trasporto);
- aumento del rendimento dell’investimento;
- tutela della qualità ambientale;
- conservazione delle risorse e minimizzazione degli effetti esterni;,
- riduzione del costo di gestione delle reti;
- riduzione del rischio;
- miglioramento dell’occupazione e della sua struttura.

La definizione di priorità, cioè la gerarchizzazione dei criteri, è un secondo elemento caratterizzante queste valutazioni.

I problemi dell’energia, dal momento che incorporano strutturalmente molte dimensioni oltre a quella economica (ambientale, sociale, spaziale/fisica), riguardano qualsiasi attività umana, specie se svolta in ambito urbano ed è per questo che oggi la città, centro di consumo per eccellenza, riveste un ruolo guida nella transizione verso un’economia sostenibile, perchè allo stesso tempo risulta essere il centro antropico con i maggiori margini di intervento, miglioramento e successo in assoluto.

2.2.3.1 Impronta Ecologica

La valutazione per dedurre le capacità di carico di un certo territorio e “l’impronta ecologica” di processi produttivi/insediativi. Originariamente l’impronta ecologica veniva definita come la superficie di territorio ecologicamente produttiva che è richiesta per garantire il flusso di materiali, di risorse e di energia che vi sono contenute, e per assorbire tutti i prodotti di rifiuto nell’atmosfera, nell’acqua e nel suolo. L’impronta ecologica, in sostanza, indica la quantità di territorio che una certa popolazione utilizza (e, quindi, che una persona utilizza) per mantenere il suo stile di vita. Pertanto essa mette a fuoco in termini quantitativi il rapporto tra città e campagna. Le categorie di territorio che vengono considerate sono quelle per attività agricole, per attività zootecniche, forestali, per produrre manufatti e per l’energia. Per esempio, quest’ultima categoria di territorio prende in considerazione le implicazioni del consumo di carburante fossile. Allo scopo si calcola la quantità di suolo consumata dall’energia fossile come area necessaria a riprodurre un’equivalente quantità di un prodotto biologicamente surrogabile, ovvero si stima la quantità di suolo che sarebbe necessaria per assorbire tutte le emissioni di CO₂ (dovuta a carbone, petrolio, gas

naturale, ecc.).

2.2.3.2 LCA

La valutazione del ciclo di vita di un prodotto, meglio nota come LCA (Life Cycle Assessment), è una metodologia che permette di effettuare uno studio completo sugli impatti ambientali di prodotti, ma più in generale servizi e sistemi, considerandone tutto il ciclo di vita "dalla culla alla tomba", comprendendo quindi l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la fase di fabbricazione del prodotto, il trasporto e la distribuzione, l'utilizzo e l'eventuale riutilizzo del prodotto o delle sue parti, la raccolta, lo stoccaggio, il recupero e lo smaltimento finale dei relativi rifiuti.

Elaborata nell'ambito dell'ecologia industriale tende a diffondersi sempre di più all'intero campo delle scelte. La LCA considera tutti gli input e gli output e rappresenta un nuovo approccio con il quale elaborare le scelte progettuali. Si tratta di una valutazione tecnica che mette a fuoco il consumo di risorse e di energia, nonché gli impatti ambientali, collegato con l'intero ciclo di vita di un bene. La LCA parte dall'analisi delle diverse fasi (dal processo produttivo al consumo, al degrado, al riciclo) e per ciascuna mette a fuoco le risorse che entrano come input nel processo e di prodotti di rifiuto dello stesso (output), suddivisi tra produzioni principali e intermedie. Anche il processo d'uso dei beni comporta il consumo di specifiche risorse e la produzione di rifiuti che sono opportunamente quantizzati. L'insieme delle risorse naturali estratte e dei prodotti di rifiuto determina una matrice di valutazione degli impatti ambientali sotto forma di inquinamento del suolo, dell'aria (smog, contributo al riscaldamento globale, piogge acide, ecc) e dell'acqua.

2.2.3.3 Analisi Energetica

L'analisi eMergetica è un tipo di analisi termodinamica, basata sui concetti di *solar eMergy* e *solar Transformity*, introdotta negli anni '80 dal prof. H.T. Odum della Università della Florida (USA), per analizzare il grado di organizzazione e la complessità dei sistemi viventi.

Tale approccio consiste nel considerare i differenti input che alimentano un certo sistema su di una base energetica comune: l'energia solare. La scelta di tale riferimento non è casuale, infatti l'energia solare è l'energia base che muove tutti i processi che si verificano nella biosfera. Per definizione l'*eMergia solare*, o *eMergia* semplicemente detta, è la quantità di energia solare equivalente necessaria, direttamente o indirettamente, per ottenere un prodotto o un flusso di energia in un dato processo. La sua unità di misura è il *solar eMergy joule* (sej). L'eMergia misura, quindi, la convergenza globale di energia solare necessaria per ottenere un dato prodotto, ovvero per rigenerare tale prodotto una volta consumato, o per sostenere un certo sistema.

Parallelamente all'eMergia, viene definita da Odum la *solar Transformity* (o *Transformity*), come l'eMergia necessaria per ottenere un'unità energetica di un certo prodotto. Operativamente la Transformity può essere vista come un coefficiente che converte in energia solare equivalente ogni input al sistema, espresso nella sua unità di misura. La Transformity si misura in sej/J, anche se talvolta, per certi tipi di prodotto o di flusso più facilmente quantificabili in unità di massa, si può usare un'eMergia "specificata" espressa in sej/g.

L'analisi eMergetica è un metodo di contabilità ambientale che cerca di valutare sia i prodotti e i servizi ambientali sia quelli economici con una stessa unità di misura.

Questo approccio si differenzia dalle analisi energetiche o economiche tradizionali per le quali di solito si trascurano gli input che non possono essere valutati su una base monetaria o energetica. La Figura 9.1 riassume la differenza tra l'analisi

economica classica e l'analisi eMergetica, e mette in evidenza come quest'ultima riesca a tenere conto di un numero di fattori, compresi quelli naturali che sono difficilmente contabilizzabili.

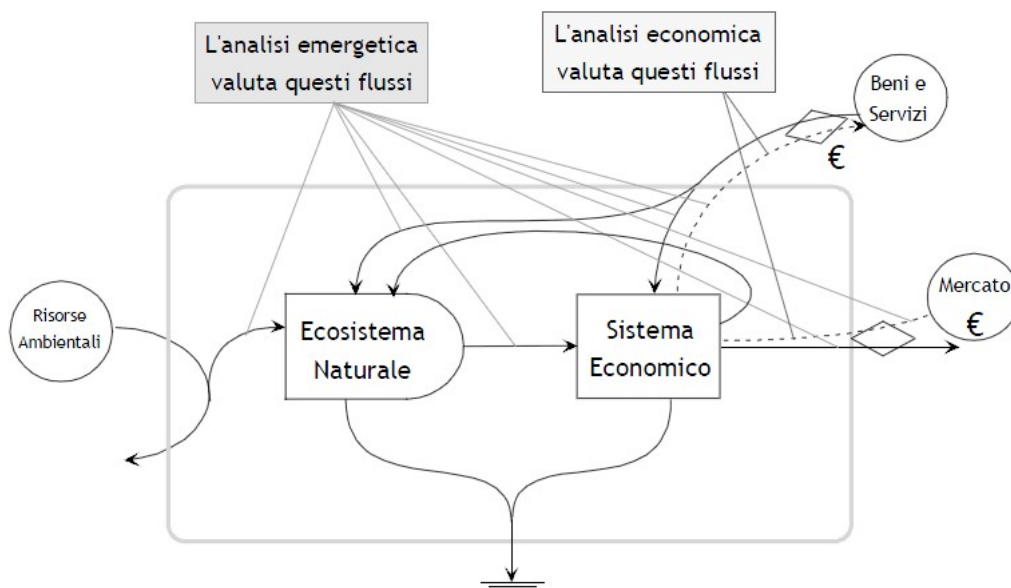


Figura 9.1: Modello di confronto fra l'approccio eMergetico e quello economico classico.

Un'analisi termodinamica basata sulla funzione *eMergy* è in grado di fornire delle risposte concrete molto più delle analisi tradizionali, sia energetiche che economiche, in quanto cerca di considerare sia le componenti ambientali di un sistema (cioè il capitale naturale), che quelle puramente economiche.

La peculiarità dei modelli emergetici è quella di essere *ambiente-centrici*, cioè di considerare l'ambiente come attore protagonista e forza motrice di ogni attività. Questi modelli

differiscono dunque profondamente dai tradizionali modelli di analisi economica, nei quali il principale criterio per le decisioni di politica economica è il mercato, e quindi tutto ciò che non è valutabile in termini monetari viene considerato come un'externalità per il sistema.

L'ambiente e i bisogni sociali condividono il più delle volte questa sorte, e richiedono l'elaborazione di meccanismi correttivi per il decision making economico. Modificare la prospettiva, in senso ambiente-centrico, diviene allora un arricchimento fondamentale per la comprensione del territorio e allo stesso tempo un momento di integrazione e confronto con l'analisi economica.

Capitolo 3 – Limiti e potenzialità dell’Impronta Ecologica Urbana

L’Ecologia è lo studio scientifico dei flussi delle risorse energetiche e di materia attraverso gli ecosistemi e del meccanismo che si è creato per l’allocazione delle risorse alle differenti specie. Allo stesso modo possiamo dire che l’economia è lo studio scientifico dell’allocazione efficiente delle risorse disponibili (energetiche e di materia) attraverso la competizione all’interno dei sistemi antropici. Quindi, economia ed ecologia hanno in comune non solo le radici semantiche, ma anche gran parte del significato tanto che l’*economia* potrebbe essere definita come la reale *ecologia umana* (W. E. Rees, 1992). O per lo meno così dovrebbe essere; l’ecologia a forti radici nel mondo reale della chimica e della termodinamica quali leggi fondamentali di governo dell’ambiente organico, mentre l’economia mondiale moderna si è radicalmente distaccata dall’ecologia provocando il deficit ambientale che è oggi sotto gli occhi di tutti. Il cittadino occidentale oggi non ha la completa percezione della scarsità delle risorse proprio perché l’ambiente urbano è completamente isolato dall’ambiente naturale ed è auspicabile che si riesca al più presto a definire un metodologia accessibile a tutti, puntuale nelle definizioni e rigorosa nel metodo che permetta ad ogni individuo di percepire facilmente il reale impatto ambientale creato.

Ed è proprio la misurazione dello sviluppo sostenibile, quello in grado di garantire il mantenimento delle risorse oggi disponibili per le generazioni future, uno dei problemi principali che si pone nell’attuazione di politiche di sostenibilità, sia a livello globale che a livello locale, ovvero quello di stimare il grado di sostenibilità o di insostenibilità ambientale del sistema considerato a partire dai dati di impatto ambientale caratteristici dei sistemi antropici in esame. Per cercare di risolverlo, in occasione della conferenza di Rio e successivamente con la Carta di Aalborg, si è affermata la necessità di elaborare una serie di indicatori, con l’intento di fornire solide basi ai processi decisionali a tutti i livelli, per contribuire a promuovere capacità di autoregolazione in senso sostenibile dei sistemi economici e ambientali. Recentemente, tra i “10 Indicatori Comuni Europei” è stata inserita l’Impronta Ecologica. L’Impronta ecologica, nata da studi di Mathis Wackernagel sotto la supervisione di William Rees, effettuati tra il 1990 ed il 1994, è un indicatore di sostenibilità utilizzato per valutare la pressione che un sistema territoriale esercita sul suo ecosistema e si misura analizzando il flusso di risorse in ingresso, il suo utilizzo e la capacità di assorbimento dell’ecosistema urbano, che rappresenta il totale delle aree biologicamente produttive di un paese o di una regione e da origine ad un deficit o ad un surplus ecologico.

L’Impronta Ecologica è uno strumento versatile e di facile interpretazione da chiunque oltre ad essere adattabile a qualsiasi scala territoriale e sub-territoriale; proprio per queste caratteristiche presenta importanti doti educative e comunicative, indispensabili per sensibilizzare la coscienza collettiva al problema ambientale. Il calcolo dell’IE è ormai prassi per le PA europee, essendo inserito nel set di 10 indicatori costituito per le valutazioni delle performance urbane, oltre ad essere

utilizzato come indicatore fondamentale per il monitoraggio della sostenibilità dalle maggiori città del mondo.

Oggi la teoria ed il team di Wackernagel e Rees sono universalmente riconosciuti come un riferimento per il calcolo sistemico delle pressioni antropiche generate sul pianeta e si occupano principalmente del problema a livello globale, anche se non mancano certo trasposizioni del modello a livello locale, sebbene ad oggi queste sperimentazioni restino molto generali e poco caratterizzate rispetto all'ambiente urbano.

3.1 L'impronta Ecologica e la Biocapacità

L'impronta ecologica, come ha ribadito l'inventore del concetto, l'ecologo William Rees (2000), può essere definita come l'area totale degli ecosistemi terrestri e acquatici richiesta per produrre le risorse che la popolazione umana consuma e assimilare i rifiuti che la popolazione stessa produce. La *biocapacità* rappresenta invece l'insieme di risorse naturali presenti nella biosfera che misurano la quantità terra e mare biologicamente produttivi disponibili per assorbire la pressione ambientale provocata dalle attività umane. In pratica si può affermare che l'impronta ecologica è in grado di stimare la quota di carrying capacity, *biocapacità* di cui una popolazione si appropria. Per questo motivo sebbene si possa affermare che il concetto di impronta ecologica sia strettamente correlato a quello di biocapacità, è necessario sottolineare come, in parte, questa metodologia ne rovesci il significato: non si determina più, infatti, la massima popolazione che un'area è in grado di supportare (problema di difficile determinazione perché il peso ecologico di una popolazione varia in funzione di numerosi fattori), ma si valuta il territorio produttivo utilizzato dai residenti, indipendentemente dal fatto che questo coincida con il territorio effettivo (Bagliani *et al.*, 2001). La differenza tra queste due superfici permette di calcolare il "resto" ovvero il deficit o il surplus ecologico di qualsiasi sistema analizzato.

Dal 1961, il primo anno per cui sono disponibili dati a sufficienza per calcolare l'IE, L'Impronta Ecologica Globale era la metà della capacità della biosfera; dal 1971 l'umanità utilizza più risorse di quante ne ha a disposizione ed oggi, con un valore di 1.5 rispetto alla Biocapacità Globale e quindi, considerando anche il deficit accumulato negli ultimi 40 anni, ha raggiunto livelli decisamente insostenibili.

A differenza della maggior parte delle tipologie di terreno che caratterizzano la biocapacità globale, rimaste costanti nel tempo e comunque ad un livello relativamente sostenibili, ad oggi il terreno per l'energia rappresenta il 54% delle risorse utilizzate rispetto ad un valore inferiore al 10% registrato nel 1961; in sostanza, se solo riuscissimo ad azzerare l'impronta ecologica dovuta

all'energia il livello di pressione che l'uomo esercita oggi sul pianeta tornerebbe ad essere sostenibile, senza quindi alcuna crisi economica o ripercussione drastica sull'attuale stile di vita. E' chiaro che l'utilizzo massivo e la conseguente crescita improvvisa dei combustibili fossili rappresenta oggi la causa determinante dell'insostenibilità del nostro modello di sviluppo, ed è proprio intervenendo sulle cause dell'incremento di questa tipologia di territorio attraverso l'efficienza energetica e le fonti rinnovabili che si potranno ottenere i risultati più efficaci in assoluto nel processo di riconversione sostenibile dei sistemi antropici.

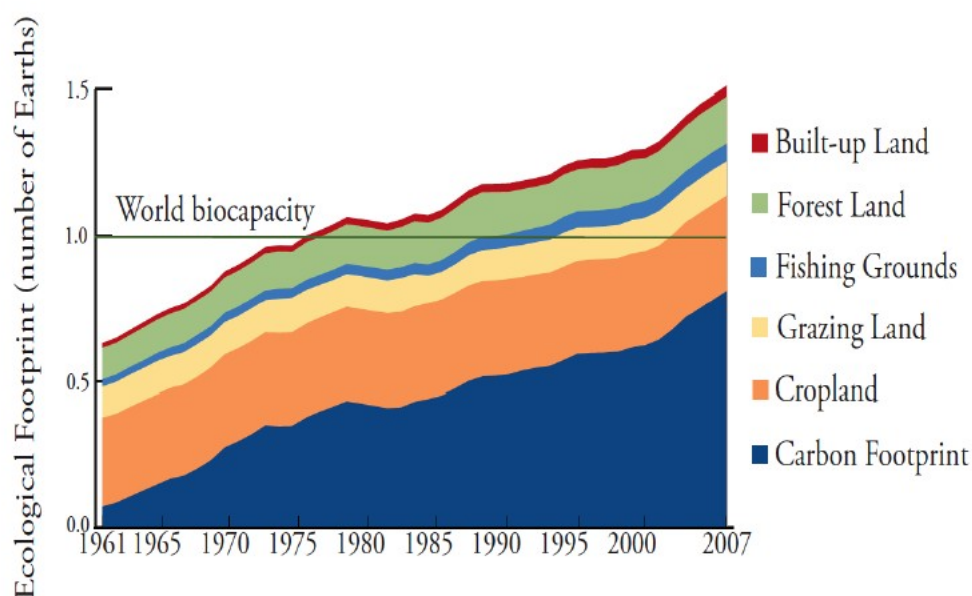


figura 3.1

3.1.1 L'Impronta Ecologica

L'impronta ecologica di una persona è data, dunque, dalla somma di sei differenti componenti: la superficie di terra coltivata necessaria per produrre gli alimenti e risorse naturali, l'area di pascolo necessaria per l'allevamento e per produrre i prodotti animali, la superficie di foresta necessaria per produrre legname e carta, la superficie marina necessaria per produrre pesci e frutti di mare, la superficie di terra necessaria per ospitare infrastrutture edilizie e la superficie forestale necessaria per assorbire le emissioni di anidride carbonica risultanti dal consumo energetico dell'individuo considerato. Essa viene misurata in "ettari globali", dove un ettaro globale è equivalente ad un ettaro di spazio bioprodotivo in rapporto alla produttività media globale.

Questo indicatore si basa sull'idea che ad ogni unità materiale o di energia consumata corrisponda una certa estensione di territorio produttivo, che garantisce il relativo apporto di risorse per il consumo e/o per l'assorbimento delle emissioni. Per quantificare questi consumi vengono considerate sei diverse tipologie di terreno (WCU *et al.*, 1991):

- **TERRENO PER L'ENERGIA:** superficie necessaria per produrre, con modalità sostenibile, la quantità di energia utilizzata. Poiché esistono numerose regole per calcolare la “capacità produttiva” sottratta all'ambiente per produrre le diverse risorse energetiche consumate da una certa popolazione, Wackernagel e Rees (1996) propongono una metodologia di calcolo basata sull'area di foresta necessaria per riassorbire la CO₂ emessa dalla produzione di energia dovuta ai combustibili fossili.
- **TERRENO AGRICOLO:** superficie arabile (e.g. campi, orti) utilizzata per la produzione delle derrate alimentari e di altri prodotti non alimentari di origine agricola (es. cotone, iuta, tabacco).
- **PASCOLI:** superficie dedicata all'allevamento e, conseguentemente, alla produzione di carne, latticini, uova, lana e, in generale, di tutti i prodotti derivati dall'allevamento.
- **FORESTE:** area dei sistemi naturali modificati dedicati alla produzione di legname.
- **SUPERFICIE EDIFICATA:** terreno degradato, ecologicamente improduttivo, dedicato alle infrastrutture quali abitazioni, attività manifatturiere, aree per servizi, vie di comunicazione, ecc.
- **MARE:** superficie marina necessaria alla crescita delle risorse ittiche consumate.

	IMPRONTA ECOLOGICA					
	TIPOLOGIE DI TERRITORIO					
CATEGORIE DI CONSUMO	ENERGIA	AGRICOLTURA	PASCOLI	FORESTE	SUPERFICIE EDIFICATA	MARE
ALIMENTI						
ABITAZIONI E INFRASTRUTTURE						
TRASPORTI						
BENI DI CONSUMO						
SERVIZI						
RIFIUTI						

Neutrale
Interazione

figura 3.2

Tabella : Impronta Ecologica - Tipologie di terreno e Categorie di Consumo

Considerare tutte queste tipologie di terreno implica difficoltà nel renderli comparabili, in quanto caratterizzati da differenti gradi di produttività (es. la disparità tra la produttività del mare e quella di un terreno agricolo è in media di 1 a 50). Per ovviare a questo problema si introduce un'operazione di normalizzazione che consente di pesare le aree dei terreni in base alla loro produttività media mondiale; si viene così a determinare l'area equivalente che sarebbe necessaria per produrre, su un terreno caratterizzato da una produttività uguale alla media mondiale, la quantità di biomassa effettivamente utilizzata dalla popolazione considerata.

3.1.2 Procedura di calcolo dell'Impronta Ecologica

Per illustrare la procedura di calcolo consideriamo una generica regione di cui si vuole valutare l'Impronta Ecologica: procedendo per passi successivi si devono affrontare le operazioni di seguito elencate.

3. Calcolo dei **consumi medi** C_n , (espressi in kg/anno) per ogni bene o prodotto n consumato dalla popolazione residente nella regione in esame.
4. Calcolo della **superficie** S_n (espressa in ha) necessaria per la produzione dello specifico bene n , ottenuta dividendo il consumo medio annuale di quel bene C_n per la sua produttività o rendimento medio annuale P_n , (espresso in kg/ha anno):

$$S_n = C_n / P_n$$

Nella contabilizzazione dei territori devono essere inclusi anche quei terreni produttivi che non sono legati direttamente ai consumi di beni ma a quei servizi naturali indispensabili per assorbire le emissioni prodotte. In questo caso la produttività media P_n dovrà essere intesa in senso generalizzato, come la quantità, in chilogrammi, della sostanza inquinante n che può essere assorbita da un ettaro di terreno produttivo.

5. Calcolo dell'**Impronta Ecologica** IE (espressa in ha) sommando i contributi delle diverse superfici S_n relative a tutti gli n beni consumati:

tutti i beni

$$IE = \sum S_n$$

n

6. Calcolo dell'**Impronta Ecologica pro capite** ie (espressa in ha/persona) dividendo l'Impronta Ecologica totale IE per la popolazione P residente nella regione in esame:

$$ie = IE / P$$

7. Calcolo della **superficie equivalente**. Moltiplicando le aree dei sei diversi tipi di terreno per i pesi proporzionali alla loro produttività media mondiale (fattore di equivalenza **EF**) si ottengono l'**Impronta Ecologica** E espressa in ha equivalenti e l'**Impronta Ecologica pro capite** e espressa in ha equivalenti pro capite. Per rendere, inoltre, comparabile il dato

ottenuto con quelli di altre realtà in altre Nazioni, se si utilizzano dati di produttività nazionale, il valore ottenuto deve essere moltiplicato per un fattore di resa **YF** che tiene conto delle differenze di produttività di un determinato tipo di terreno tra le diverse nazioni. I valori di EF ed YF per ciascuna tipologia di terreno, per l'Italia, sono stati ricavati dal sito <http://www.optimumpopulation.org/opt.sustainable.numbers.html>

Il calcolo dell'Impronta Ecologica, secondo la formulazione classica di Wackernagel e Rees, permette di arrivare ad un valore sintetico finale (la superficie o superficie equivalente) che consente di stimare il livello di sostenibilità della regione considerata. A fianco di questa metodologia si sono sviluppate nuove formulazioni volte a disaggregare maggiormente il risultato ottenuto al fine di focalizzare meglio le possibili cause dell'insostenibilità.

La metodologia utilizzata dallo stesso autore nel 2010 prende in considerazione, per tutti i beni alimentari e di consumo, l'intero processo produttivo, contabilizza i flussi in ingresso ed in uscita dal sistema oltre a tenere traccia sia degli impatti diretti che indiretti dei beni di produzione, calcolati con la seguente equazione:

$$IE_c = IE_p + IE_l - IE_e$$

Lo schema seguente, tratto dalla Metodologia di Calcolo dell'IE per il 2010, descrive bene l'equazione di flussi utilizzata per valutare l'Impronta Ecologica dei beni di produzione.

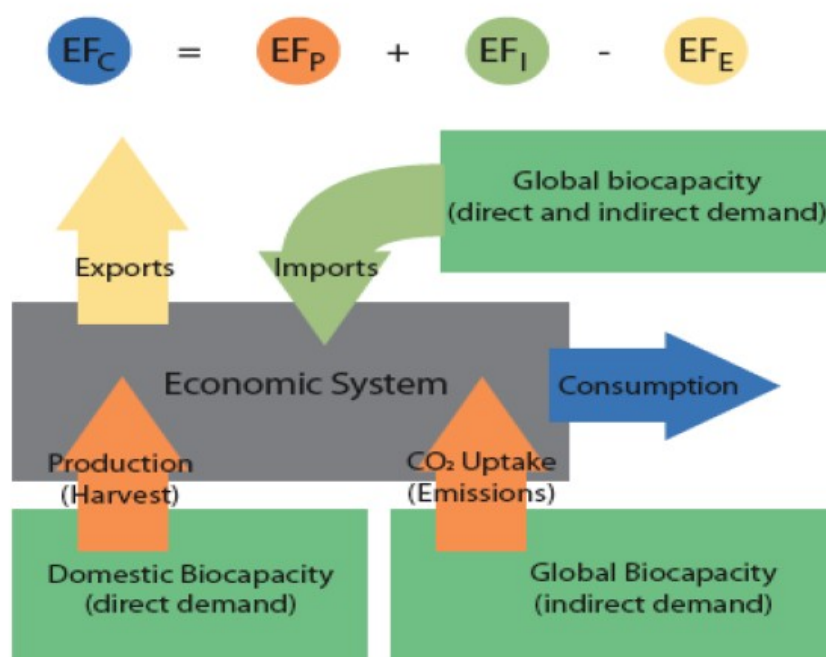


figura 3.3

Il fattore di conversione dei prodotti secondari come pane, olio e altri derivati, si ottiene invece attraverso l'equazione sotto riportata che tiene conto del contributo di prodotto primario necessario alla produzione

$$Y_D = Y_p * EXTR_D$$

Dove $EXTR_D$ di solito rappresenta proprio la quantità di prodotto primario necessaria alla produzione del derivato. Per tenere in considerazione i differenti prodotti utili alla produzione di un bene si utilizzano le seguenti relazioni:

$$EXTR_D = \underline{TCF_D};$$

$$FAF_D$$

$$FAF_D = \underline{TCF_D} \underline{V_D};$$

$$\sum TCF_i V_i$$

In queste formule TCF rappresenta il fattore tecnico di conversione da prodotto primario a secondario che a sua volta è funzione del fattore FAF che, misurando i pesi di ogni prodotto primario utilizzato per la produzione del secondario, fornisce una rappresentazione più precisa dell'Impronta ecologica del prodotto derivato.

3.1.3 La Biocapacità.

Questo tipo di metodologia propone, insieme all'*Impronta Ecologica*, un secondo indicatore chiamato *biocapacità*. Con questo termine si indica la superficie di terreni ecologicamente produttivi che sono presenti all'interno della regione in esame.

Riprendendo quanto affermato nel Rapporto Finale del Progetto Indicatori Comuni Europei EUROCITIES (Lewan & Simmons, 2001) “la biocapacità misura l'offerta di bioproduttività, ossia la produzione biologica di una data area. Essa è data dalla produzione aggregata dei diversi ecosistemi appartenenti all'area designata, che vanno dalle terre arabili ai pascoli alle foreste alle aree marine produttive e comprende, in parte, aree edificate o in degrado. La biocapacità non dipende dalle sole condizioni naturali, ma anche dalle pratiche agricole e forestali dominanti”.

Il calcolo della biocapacità è un procedimento a step che si rifà alle definizioni e al formalismo matematico dell'Impronta Ecologica:

4. Il primo passo consiste nel calcolare l'estensione a_i dei territori ecologicamente produttivi presenti all'interno della regione in esame, raggruppandoli per ciascuna delle sei categorie sopra menzionate.
5. Sommando le aree a_i delle sei categorie di terreno si ottiene l'area totale B (misurata in ha) di terreno occupato da ecosistemi, e quindi potenzialmente produttivo, che è presente sul territorio:

6

$$B = \sum_{i=1} a_i$$

$i=1$

6. In realtà, per confrontare in modo coerente la biocapacità con l'Impronta Ecologica è necessario moltiplicare le aree a_i dei sei diversi tipi di terreno sia per il fattore di equivalenza EF che per il fattore di resa YF: in questo modo si ottiene una misura della biocapacità che, similmente all'Impronta Ecologica, risulta espressa in ha equivalenti.
7. A tale valore si sottrae, seguendo le indicazioni suggerite da Wackernagel (1997), un 12% di terreno per ecosistemi, equivalente all'area minima, indispensabile, per la preservazione della biodiversità nel pianeta, pur riconoscendo che si tratta di un valore comunque basso.
8. Partendo dalla misura così ottenuta e dividendola per il numero di abitanti è possibile calcolare la biocapacità pro capite b .

La biocapacità rappresenta quindi l'estensione totale di territorio ecologicamente produttivo presente nella regione, ossia la capacità potenziale di erogazione di risorse e servizi naturali a partire dagli ecosistemi locali. Questa grandezza, come detto, va comparata con l'Impronta Ecologica che fornisce una stima dei servizi ecologici richiesti dalla popolazione locale. È possibile definire un vero e proprio bilancio ambientale sottraendo all'offerta locale di superficie ecologica (la biocapacità) la domanda di tale superficie, richiesta dalla popolazione locale, (l'Impronta Ecologica). Ad un valore *negativo* (*positivo*) del bilancio corrisponde una situazione di *deficit* (*surplus*) ecologico: questo sta ad indicare una situazione di insostenibilità (sostenibilità) in cui i consumi di risorse naturali sono almeno teoricamente superiori (inferiori) ai livelli di rigenerazione che si hanno partendo dagli ecosistemi locali. L'entità del deficit o del surplus ecologico rappresenta pertanto una stima del livello di sostenibilità/insostenibilità del territorio locale.

3.2 L'impronta Ecologica Urbana

Un esempio tipico per spiegare la teoria dell'impronta è fornito dagli stessi autori: una città racchiusa in una cupola di vetro, che lasci entrare la luce ma che impedisca alle cose materiali di qualunque genere di entrare ed uscire. Supponiamo che questa città sia circondata da un paesaggio diversificato, nel quale terre coltivate e pascoli, foreste e bacini idrici, cioè tutti i tipi di territorio ecologicamente produttivi, siano rappresentati in proporzione alla loro attuale presenza sulla Terra e che la città abbia a disposizione una quantità di energia da combustibili fossili adeguata a sostenere gli attuali livelli di consumo e le sue tecnologie prevalenti. Supponiamo inoltre che la cupola di vetro sia elasticamente espandibile. La domanda, a questo punto, è la seguente: quanto deve diventare grande la cupola perché la città al suo centro possa sostenersi indefinitamente soltanto grazie agli ecosistemi terrestri e acquatici e alle risorse energetiche contenute all'interno della cupola stessa? In altri termini: qual è la superficie totale di ecosistemi terrestri necessaria per sostenere continuamente tutte le attività sociali ed economiche degli abitanti di quella città? Tale superficie, necessaria all'esistenza continuativa della città, costituisce di fatto la sua Impronta Ecologica sulla Terra. È evidente che l'impronta ecologica di una città sarà proporzionale sia alla sua popolazione che ai consumi materiali pro capite. (Wackernagel & Rees, 2004)

Il metodo classico dell'Impronta Ecologica, *The “national account based approach”*, è basato sull'utilizzo dei dati nazionali aggregati, “localizzati” attraverso opportuni coefficienti di equivalenza (EF) e produttività (YF). Successivamente le statistiche dei consumi nazionali sono trasformate in ettari globali equivalenti (gha), che rappresentano la totalità delle aree mediamente produttive necessarie a produrre le risorse consumate e ad assorbire i rifiuti e le emissioni prodotte da ogni sistema antropico. L'Ettaro Globale Equivalente – *gha* – non rappresenta solo un peso di una tipologia di territorio o la sua estensione, ma anche un'unità di misura che rende comparabile la capacità produttiva di un territorio con la pressione esercitata dall'attività antropica. Questo metodo comporta una serie di interessanti indicazioni che aiutano a rappresentare la resilienza e la durabilità dei sistemi ecologici in relazione alla domanda di capitale naturale della specie umana.

D'altro canto l'indicatore non permette di misurare adeguatamente l'inquinamento provocato dagli agenti non strettamente legati ai gas serra, oltre a non utilizzare fonti omogenee per tutti i dati necessari al suo calcolo, con ovvie ripercussioni sui margini di errore attesi.

Il metodo è in ogni caso in continua evoluzione ed ogni anno sono introdotti algoritmi di calcolo utili a aumentare l'attendibilità ed il potenziale utilizzo dello strumento stesso. Anche dal punto di vista della localizzazione sono stati fatti numerosi passi avanti tanto che, già nel 2001, l'Impronta Ecologica è stata scelta come uno degli 11 indicatori di sostenibilità per il Progetto Indicatori Comuni Europei EUROCITIES. Nel Rapporto Finale di questo documento vengono, infatti, indicate le potenzialità, le metodologie e i criteri pratici per applicare l'analisi dell'Impronta Ecologica a territori a scala geografica sub-nazionale. L'Impronta Ecologica, dunque, ha lo scopo di

descrivere la pressione esercitata da un sistema economico, sociale e produttivo sugli ecosistemi naturali e di evidenziare i settori dell'attività umana che contribuiscono maggiormente all'impatto sul sistema territoriale. A partire da questi risultati l'ente comunale potrà individuare le maggiori criticità ambientali presenti all'interno del suo territorio e definire obiettivi e azioni concrete per migliorare la performance del sistema territoriale dal punto di vista della sostenibilità. Le informazioni ambientali così ottenute rappresentano un presupposto necessario per rafforzare la consapevolezza dei cittadini sulle implicazioni ambientali delle politiche di sviluppo e degli stili di vita individuali e comuni.

Applicando il formalismo dell'Impronta Ecologica ad un sistema locale si è quindi in grado di portare alla luce e individuare le dinamiche ambientali sottostanti alle attività produttive e agli scambi commerciali permettendo così di rivelare eventuali situazioni particolari di insostenibilità ambientale anche in regioni o territori con alti standard ambientali (Bagliani & Ferlaino, 2003).

Per far capire l'importanza dell'applicazione dell'Impronta Ecologica a livello locale, torniamo all'esempio della città racchiusa in una cupola di vetro. Immaginiamo, cioè, che la città sia contenuta in una cupola esattamente delle dimensioni necessarie per sostenere l'attuale popolazione agli attuali standard di vita. Chiediamoci, quindi, quali sarebbero i processi di pianificazione e le leggi che governano l'uso locale dei suoli in una simile "cupola urbana". Che tipo di processo decisionale vi avrebbe luogo? Chi vi sarebbe coinvolto? Quali i costi dello sviluppo che attualmente preferiamo ignorare diventerebbero improvvisamente molto importanti? Quali criteri verrebbero usati per decidere tra interessi privati e bene comune?

Per contribuire a fornire risposte a queste domande l'Impronta Ecologica Urbana deve essere in grado di misurare i limiti di sostenibilità dell'ambiente urbanizzato ed, in aggiunta ed in relazione alla Biocapacità Urbana stessa, il livello di deficit ecologico e la necessità di prelevare terreni bioproduttivi dai sistemi antropici limitrofi. Se tutta la popolazione fosse in grado di vivere utilizzando le capacità produttive delle proprie regioni l'effetto complessivo sarebbe il raggiungimento di un adeguato livello di sostenibilità. Nella realtà nessuna regione è realmente autosufficiente e la popolazione concentrata negli agglomerati urbani ed in alcune nazioni eccede da tempo la propria disponibilità di risorse naturali locali. Queste regioni stanno raggiungendo un deficit ecologico incalcolabile e la popolazione di quelle aree sta utilizzando, in definitiva, risorse altrui. Deficit Ecologici locali non sono necessariamente negativi, soprattutto se le regioni con deficit ecologico attingano alle risorse di aree limitrofe che abbiano un surplus ecologico a disposizione.

Lo sviluppo sostenibile pone quindi, anche attraverso l'istituzione di AG21L, degli obiettivi globali da perseguire a livello locale, con un approccio *bottom-up*. La qualità ambientale a livello globale è infatti determinata da attività che vengono svolte a livello locale, così come strumenti e

politiche volti al raggiungimento di uno stesso obiettivo possono risultare più o meno adatti ed efficaci a seconda del luogo dove vengono utilizzati ed implementati. Inoltre, per risolvere davvero un problema, bisogna conoscerne ed affrontarne le cause e anche queste ultime, come le soluzioni possono variare da un posto all'altro. Ed è da questo punto che nasce l'esigenza di caratterizzare l'Impronta Ecologica all'ambito Urbano, attraverso la ricerca di legami tra l'IEU e gli indici di urbanistica classica come densità, S_f , H, S/V, Densità ed S_{cop} .

Già nelle prime formulazioni dell'Impronta Ecologica è stato implementato anche il ***"component-based approach or "bottom - up"***, basato su una lista dei vari consumi e rifiuti generati nel sistema analizzato, il calcolo di parametri standard di caratterizzazione o coefficienti specifici di trasformazione ove non presenti dati standardizzati. E' proprio attraverso il processo di integrazione con differenti strumenti di analisi che è possibile completare il modello dell'Impronta Ecologica Urbana; il Life Cycle Assessment – LCA, che misura i flussi di materia ed energia che caratterizzano la produzione di un bene, è uno strumento particolarmente adatto al calcolo dei citati standard e, attraverso una buona integrazione con l'IEU, permetterebbe di specificare l'utilizzo di materia ed energia all'interno di ogni singolo processo garantendo, attraverso l'utilizzo di appositi coefficienti, risultati molto precisi in termini di ettari globali – gha.

Il *component-based approach* è un metodo molto simile al LCA e consente di estrapolare valori "georeferenziati" molto precisi per ogni categoria di consumo. In ogni caso, per costruire un metodo per il calcolo rigoroso dell'Impronta Ecologica Urbana c'è ancora molto lavoro da fare ed è quindi opportuno approfondire la conoscenza sul metodo correntemente utilizzato per il calcolo per individuare gli aspetti da implementare.

3.2.1 L'Impronta Ecologica Urbana. Categorie di consumo

Come suggeriscono le procedure analizzate nelle *Best Practices*, poiché l'analisi è stata applicata ad un'entità sub nazionale, non è possibile stimare l'impronta mediante valutazioni complessive quali, ad esempio, il bilancio fra import-export e produzione. La strada scelta è stata, quindi, quella di utilizzare il *component-based approach*, valutando la richiesta di territorio associata ad ogni categoria di consumo significativa. L'IEU provocata da ogni categorie di consumo va, dunque, associata a ciascuna delle sei tipologie di territorio considerate dall'analisi.

	IMPRONTA ECOLOGICA URBANA - MATRICE DEGLI IMPATTI					
	TIPOLOGIE DI TERRITORIO					
CATEGORIE DI CONSUMO	ENERGIA	AGRICOLTURA	PASCOLI	FORESTE	SUPERFICIE EDIFICATA	MARE
ALIMENTI						
ABITAZIONI E INFRASTRUTTURE						
TRASPORTI						
BENI DI CONSUMO						
SERVIZI						
RIFIUTI						

Neutrale

Pressione

figura 3.4

Tabella 2. Relazioni esistenti tra le categorie di consumo e le tipologie di territorio.

In questo paragrafo è descritta la metodologia di calcolo utilizzata per l'IE dei sistemi locali. In particolare è riportato il modello usato per Cuneo, BPA analizzata in successivo paragrafo, che ricalca il foglio messo a punto da Wackernagel a meno dei coefficienti utili a trasporre la matrice canadese nel contesto italiano, sia in termini di “abitudini” dei cittadini che di coefficienti di equivalenza (EF) e produttività (YF). Saranno poi evidenziate le lacune e le generalizzazioni del modello di calcolo oggi comunemente utilizzato per l'Impronta Ecologica Urbana, al fine di individuare i parametri che permetteranno di caratterizzare l'IE all'ambito Urbano in senso generale ed in particolare alla forma urbana ed alle caratteristiche peculiari dell'ambiente costruito.

3.2.1.1 Alimenti

L'Impronta Ecologica dovuta al consumo di alimenti costituisce una delle voci fondamentali dell'analisi. Per prima cosa è necessario risalire ai consumi degli abitanti dell'area analizzata. La principale fonte di informazione sui consumi è costituita dall'indagine condotta dall'Istat ma, in alcuni casi, sono disponibili anche i dati della Camera di Commercio Locale. Queste fonti forniscono i consumi in euro, per cui per avere dei dati più specifici relativi anche alle sottocategorie considerate dall'Istat, vengono comunemente rapportati i dati dei consumi più dettagliati specificati per una famiglia media della Macroarea in cui il sistema urbano è inserito a quelli comunali, applicando una semplice proporzione:

$$\text{spesa bene } x_{\text{MACROAREA}} : \text{spesa bene } x_{\text{SISTEMA LOCALE}} = \text{spesa sottocategoria } y_{\text{MACROAREA}} : \text{spesa sottocategoria } y_{\text{SISTEMA LOCALE}}$$

Per chiarire il calcolo si consideri l'esempio per la categoria di consumo “Pane e Cereali”, che nell'analisi dell'Istat viene suddivisa in 5 sottocategorie: 1) pane e grissini; 2) biscotti; 3) pasta

e riso; 4) pasticceria e dolci; 5) altro. Le tabelle relative ai consumi del comune considerano invece solo la voce generale “Pane e Cereali”. Applicando, dunque, la proporzione di prima si può, ad esempio, ottenere la spesa per i “biscotti”:

$$\text{spesa biscotti}_{\text{SISTEMA LOCALE}} = \frac{\text{spesa pane e cereali}_{\text{SISTEMA LOCALE}}}{\text{spesa pane e cereali}_{\text{MACROAREA}}} * \text{spesa biscotti}_{\text{MACROAREA}}$$

Questo metodo viene quindi applicato per tutte le categorie di consumo, così da ottenere il consumo medio mensile familiare per il sistema locale da analizzare. A questo punto, il consumo per ciascuna categoria di bene viene diviso per il numero medio di componenti per famiglia, così da ottenere la spesa mensile pro-capite, che, a sua volta, è stata moltiplicata per 12 in modo da avere la spesa annuale pro-capite.

Il calcolo dell’Impronta Ecologica, però, richiede di avere il dato in termini quantitativi e non monetari, per cui per ottenerlo si è divisa la spesa annuale per un prezzo medio al consumo per ciascun alimento nell’anno di riferimento. Se il dato non risulta reperibile sono considerati i prezzi medi al consumo per ciascuna categoria di alimento al sistema locale con dati disponibili più vicini. Ottenuto il dato quantitativo del consumo di alimenti nel sistema locale si procede al calcolo dell’Impronta Ecologica.

La trattazione per componenti, cioè quella più utilizzata per il calcolo dell’IEU, è sicuramente la più appropriata al sistema urbano per cui, per quanto riguarda i consumi alimentari, il modello applicato risulta essere esaustivo. L’Impronta Ecologica dovuta agli alimenti resta comunque di esclusiva responsabilità del cittadino che, attraverso diete più vegetariane e l’attenzione verso i prodotti di filiera corta, possono incidere sensibilmente sul valore di questa categoria di consumo.

Qui di seguito sono specificate le formule applicate per il calcolo dell’Impronta delle varie tipologie di terreno.

Terreno per l’energia

Il terreno per l’energia associato al consumo di alimenti è comprensivo di tutti gli input energetici necessari per avere quel prodotto sui mercati alimentari. Per il suo calcolo si utilizza la formula data da Wackernagel nel foglio di calcolo dell’impronta delle famiglie (Wackernagel et al., 2000), ovvero:

Terreno per l'Energia (gha) = Consumo Medio Annuale Pro-Capite (Kg/ab)*Embodied Energy (MJ/Kg)*Fattore di Correzione *Fattore di Assorbimento CO2 (mq/MJ)

Dove:

- per **Embodied Energy** si intende l'energia inglobata nell'alimento, ovvero l'energia necessaria per l'intero ciclo di vita del bene affinché esso venga prodotto, trasportato e usato (*Energia o Energia Grigia*).
- per **Fattore di Correzione** si intende un fattore moltiplicativo costante dato dalla provenienza degli alimenti consumati, ovvero si considera la percentuale di cibo importata da più di 300 km circa.
- per **Fattore di Assorbimento CO2** si intende il fattore di conversione tra l'energia fossile consumata e la superficie di foresta necessaria ad assorbire tutta la CO2 prodotta e che non viene assorbita dagli oceani. Viene espresso in mq di foresta necessaria per assorbire la CO2 prodotta da 1 MJ di energia fossile utilizzata; il suo valore, calcolato con i dati aggiornati dell'IPCC è pari a 0,15 m2/MJ.

Moltiplicando tutti questi fattori per il consumo annuale pro-capite di ciascun bene alimentare si ottengono i mq di terreno per l'energia. Per trasformare questo valore in ha globali, confrontabili con altre realtà, si deve ovviamente passare da mq ad ha e, in seguito, moltiplicare questo valore per i due fattori di conversione: il fattore di equivalenza EF e il fattore di resa YF.

La somma di tutti gli ha globali di terreno per l'energia di ciascuna categoria di alimento fornisce il totale di ha globali pro-capite necessari a sostenere il consumo di alimenti da parte di un cittadino del sistema urbano in esame.

Terreno agricolo

Il calcolo dell'Impronta per questa tipologia di terreno ha richiesto, innanzitutto, la stima del terreno agricolo necessario per produrre i vari alimenti. Per fare ciò si è dovuto, prima di tutto, distinguere gli alimenti in prodotti primari e prodotti secondari. Per rendere chiara la suddivisione si può considerare ad esempio il pane, che è un prodotto secondario, in quanto ottenuto utilizzando il grano, che, invece, è un prodotto primario. Per cui, per tutti i prodotti secondari, è stato necessario determinare il quantitativo di prodotto primario principale utilizzato per ottenere il dato alimento sulla base di valori medi comunque poco aggiornati. Ottenuto, quindi, il quantitativo di prodotto primario necessario è stata considerata la produttività media, espressa in kg/ha, di ciascuna tipologia

di terreno coltivato. Il dato sulla produttività media italiana è stato consultabile dagli archivi digitali della FAO.

Dividendo, dunque, il quantitativo di prodotto primario per la produttività media del terreno agricolo coltivato ad esso, è stato possibile risalire agli ettari di terreno agricolo coltivato:

$$\text{Terreno Agricolo (ha)} = \frac{\text{consumo medio annuale pro-capite (Kg/ab)}}{\text{Produttività media (Kg/ha)}}$$

A questo punto, il valore ottenuto è stato moltiplicato per i fattori di equivalenza e di resa. Per alcuni alimenti, per cui non si è riusciti a risalire al prodotto primario necessario per ottenerli, si è moltiplicato direttamente il quantitativo consumato per la **Footprint Intensity**, data da Wackernagel nel foglio di calcolo delle famiglie canadesi (Wackernagel *et al.*, 2000):

$$\text{Terreno Agricolo (gha)} = \text{Consumo Medio Annuale Pro-Capite (Kg/ab)} * \text{Footprint Intensity (gmq/Kg)}$$

Dove per Footprint Intensity, espressa come mq globali/kg, si intendono i mq globali di terreno produttivo necessari per ottenere 1 kg di un determinato bene. Anche in questo caso la somma di tutti gli ha globali di terreno agricolo di ciascuna categoria di alimento forniscono il totale di ha globali pro-capite necessari a sostenere il consumo di alimenti del sistema antropico in esame.

Pascoli

Questa tipologia di terreno è specifica per tutti quegli alimenti di origine animale, quali carne e latte e suoi derivati, per cui è necessario il pascolo degli animali per ottenere l'alimento in questione. In questo caso per ottenere la rispettiva Impronta Ecologica è stata utilizzata la Footprint Intensity, data da Wackernagel nel foglio di calcolo delle famiglie canadesi (Wackernagel *et al.*, 2000), moltiplicata per il valore quantitativo del bene:

$$\text{Pascoli (gha)} = \text{Consumo Medio Annuale Pro-Capite (Kg/ab)} * \text{Footprint Intensity (gmq/Kg)}$$

Mare

Anche in questo caso questa tipologia di territorio produttivo necessaria a ottenere il pesce consumato all'interno della comunità analizzata, è stata calcolata moltiplicando il quantitativo consumato per la specifica Footprint Intensità (Wackernagel *et al.*, 2000).

$$\text{Mare (gha)} = \text{Consumo Medio Annuale Pro-Capite (Kg/ab)} * \text{Footprint Intensity (gmq/Kg)}$$

In conclusione, dunque, la somma di tutti questi terreni fornisce l'Impronta Ecologica Totale Pro-Capite associata al consumo di alimenti nel sistema antropico oggetto di studio.

I fattori YF ed EF determinano quindi, in tutte le categorie di consumo, il peso che ciascun prodotto esercita sull'ecosistema. I dati comunemente utilizzati sono frutto delle analisi compiute in Canada per il modello originale di Wackernagel e quindi localizzati con coefficienti YF ed EF che trascurano i reali cicli produttivi locali. Questi cicli, soprattutto dal punto di vista del terreno per l'energia, possono essere molto diversi in ogni località in funzione dell'efficienza del ciclo produttivo ed del contenuto energetico dei materiali utilizzati. Anche per gli altri tipi di terreno vale comunque la stessa considerazione; in particolare per quello alimentare le differenze sulle tecniche di produzione dei beni primari e sui coefficienti di conversione dei prodotti secondari (i.e. il grano è un prodotto primario, il pane secondario), nonché la dieta locale che determina il consumo di Embodied Energy alimentare, incidono sensibilmente sui coefficienti di conversione da utilizzare per ottenere il valore della pressione ambientale esercitata in termini di IE-gha, ma spesso non sono disponibili dati attendibili per gli ambiti urbani o comunque locali e si deve attingere ai valori delle famiglie canadesi.

Per un avere un quadro veramente dettagliato si può ricorrere all'ausilio di strumenti di analisi del ciclo di vita come l'LCA e l'Analisi Energetica, e confrontare poi i risultati ottenuti con le due metodologie per ottenere dati più precisi, come del resto ha già fatto El Bouazzoui nel metodo utilizzato per la sua trattazione sull'IE specifica delle attività industriali.

3.2.1.2 Abitazioni ed infrastrutture

Secondo la metodologia classica dell'IE la categoria Abitazioni ed Infrastrutture influisce solo su due tipologie di terreno produttivo: il terreno per l'energia e la superficie edificata. In questa categoria sono dunque compresi i consumi energetici e l'area occupata dal settore domestico, industriale e terziario (esclusi i servizi).

Per una trattazione più approfondita in realtà potrebbe essere utile separare l'attività industriale da questa categoria di consumo, poiché ogni filiera industriale locale richiede un'identificazione dello specifico ciclo produttivo, come dimostra il citato studio di El Bouazzoui.

Terreno per l'energia

I fattori che influiscono nel terreno per l'energia per la categoria abitazioni ed infrastrutture sono numerosi; infatti non solo si ha il contributo dato dall'abitazione come entità fisica e dall'energia in essa immagazzinata (Embodied Energy), ma anche quello dovuto al consumo di energia elettrica, di combustibili fossili e di acqua. Di seguito è specificato il calcolo comunemente utilizzato per risalire al terreno per l'energia per ciascuna di queste tipologie di contributi nel computo classico dell'IEU. Al contrario degli Alimenti, le Abitazioni ed Infrastrutture sono di esclusiva competenza della PA in quanto soggetto titolare del Governo del Territorio, ed è quindi ancora più importante costruire strumenti specifici per il monitoraggio dell'IEU che siano di supporto alla pianificazione sostenibile locale.

g) Abitazione (Embodied Energy)

In questa voce è considerata l'energia inglobata all'interno di un edificio, ovvero la sua Embodied Energy, intesa come la somma di tutta l'energia non rinnovabile necessaria per l'acquisizione dei materiali da costruzione, per i processi che subiscono per diventare utilizzabili, per il trasporto di essi sul luogo di costruzione e per l'edificazione dell'abitazione vera e propria. Inoltre comprende, anche, tutta l'energia non rinnovabile necessaria per mantenere, riparare e sostituire questi materiali durante l'intero ciclo di vita dell'abitazione. Per ottenere questo valore di Embodied Energy, sono stati analizzati diversi documenti scientifici, da cui il valore medio per un'abitazione risulta essere di 4317 MJ/m² (Sartori & Hestnes, 2007; Venkatarama Reddy & Jagadish, 2003; Asif *et al.*, 2007; Mithraratne & Vale, 2004). Gli stessi autori forniscono, anche, un altro dato necessario al calcolo che è l'età di vita media di un'abitazione che è pari a circa 50 anni.

Per ottenere, dunque, il terreno per l'energia necessario a sostenere le emissioni di CO₂ prodotte dalla costruzione di un'abitazione si è applicata la seguente formula:

$$\text{Terreno per l'energia (mq)} = \text{Superficie urbanizzata (mq)} * \frac{\text{Età di vita media di un'abitazione}}{\text{Embodied Energy (MJ/mq)}} * \text{Fattore assorbimento CO}_2$$

Anche in questo caso per ottenere gli ettari globali di terreno per l'energia utilizzati basta trasformare i mq in ha e poi moltiplicare questi per i fattori di conversione EF ed YF. Dividendo, infine, il valore ottenuto per il numero di abitanti si ottiene il valore di ettari globali di terreno per l'energia pro-capite per sostenere le abitazioni e le infrastrutture presenti nel comune.

Anche in questo caso il parametro utilizzato per l'Embodied Energy è troppo generale e strumenti come LCA ed Emergia possono essere molto utili per la creazione di un database che permetta di caratterizzare realmente i dati al contesto locale analizzato. Oltre ad essere riferiti al contesto canadese sono poche le alternative di materiali utilizzabili e quindi poco attendibili i dati di partenza, sebbene anche l'implementazione di un modello di analisi richiederebbe poi un ulteriore sforzo per un censimento preciso della consistenza edilizia dell'area analizzata. E' chiaro comunque che la bioedilizia, attraverso i materiali ecologici, gioca un ruolo molto importante in questa categoria ma che allo stesso tempo non è tenuta nella giusta considerazione.

h) Combustibili fossili

Sotto questa voce sono ricompresi i consumi di metano, gasolio e olio combustibile per uso domestico ed industriale. Per ottenere il consumo di questi combustibili si utilizzano i dati di consumo statistici dell'area in analisi divisi per settore, con opportuni coefficienti di attualizzazione. Il terreno per energia richiesto è stato, dunque, calcolato applicando la seguente formula:

Terreno per l'energia (mq) = consumo annuale Combustibile (udm) * I fattore di conversione (g di CO₂ /udm) * II fattore di conversione (ha/t di CO₂)

Dove:

- il **I fattore di conversione** definisce quanti kg di CO₂ vengono prodotti ogni mc (l) di combustibile consumato. Questo fattore assume il valore di 1,96 per il metano e di 2,6 per gasolio ed olio combustibile.
- Il **II fattore di conversione** esprime, invece, gli ettari necessari ad assorbire 1 tonnellata di CO₂; ed è pari a 0,19.

L'analisi dei consumi energetici condotta a partire da dati statistici non permette di monitorare adeguatamente il patrimonio edilizio urbano e risulta lacunosa per un utilizzo come indicatore per lo sviluppo sostenibile locale in quanto non è possibile capire quanto e come i consumi siano potenzialmente riducibili e non è quindi possibile implementare strumenti di gestione

urbana che rendano efficaci gli interventi della PA e che consentano di monitorare le previsioni di consumo effettuate tramite le procedure utili a calcolare l'efficienza energetica degli edifici.

L'EP, l'Indice di Prestazione Energetica degli edifici comunemente utilizzato dalla normativa europea ed italiana, legato ai fattori di forma degli edifici (S/V, H, n. piani), non sono assolutamente presi in considerazione in quanto non entrano in alcun modo nel processo di calcolo dell'IE, sebbene siano indici sufficientemente generali, tanto da essere riconducibili agli indici che caratterizzano in definitiva la forma e la densità della città, parametri fondamentali nella valutazione di sostenibilità di una comunità urbana.

c) Energia Elettrica

Anche per il consumo di energia elettrica si sono considerati i valori statistici dei consumi. Per il calcolo del terreno per l'energia associato al consumo di energia elettrica viene applicata la formula utilizzata da Wackernagel nel foglio di calcolo delle famiglie canadesi (Wackernagel *et al.*, 2000), per l'energia termoelettrica, in quanto dal Bilancio Energetico si evince che solo l'1% dell'energia consumata è prodotta da fonti rinnovabili:

$$\text{terreno per l'energia (mq)} = \text{consumo annuale energia elettrica (kwh)} * \text{Embodied Energy (MJ /kwh)} * \text{Fattore assorbimento CO2}$$
$$1 - \% \text{ di energia persa}$$

Dove:

- L'**Embodied Energy** è l'energia utilizzata per la produzione di energia elettrica ed è pari a 3,6 MJ/kwh.
- La **% di energia persa** corrisponde alla % di energia persa durante la conversione in energia elettrica dell'energia primaria, che è di circa 70%.

Dopo aver convertito i mq in ha, moltiplicato per EF ed YF e diviso per il numero di abitanti si ottiene il fabbisogno di terreno per l'energia dell'area analizzata.

Nel calcolo usuale dell'IEU dovuta all'energia elettrica si tiene quindi conto esclusivamente dell'efficienza media del parco elettrico nazionale, comprensiva di perdite di trasmissione e distribuzione. All'alba dell'era delle fonti rinnovabili, tecnologie che permetteranno un rapido passaggio dalla generazione centralizzata a quella distribuita, sarà invece importante localizzare sia l'Embodied Energy della singola fonte che le perdite per trasmissione e distribuzione, che rappresentano un'aliquota importante che potrà essere sensibilmente ridotta proprio grazie alla

vicinanza del punto di produzione energetica con il punto di prelievo, per l'appunto la generazione distribuita.

d) Acqua

Anche il consumo di acqua è basato su consumi statistici o, in taluni casi, essendo ancora l'acqua un servizio prevalentemente pubblico, è possibile risalire direttamente alle erogazioni dell'acquedotto locale.

Per ottenere il valore dell'Impronta Ecologica relativo al consumo di acqua, nel metodo classico dell'IEU, si considera solo l'energia necessaria per trattare, trasportare in condutture, distribuire e, quando applicabile, riscaldare l'acqua. Si è considerato per ogni megalitro (1 milione di litri) di acqua l'emissione di 370 kg di CO₂ (Chambers et al., 2002). Per cui il calcolo effettuato risulta essere il seguente:

terreno per l'energia (mq) = consumo annuale acqua (mc) * I FC (Kg di CO₂ /mc) * II FC (ha/t di CO₂)

1 - % di energia persa

Dove il **I fattore di conversione** è pari a 0,37 Kg di CO₂ /mc e il **II** è di 0,19 ha/t di CO₂. Anche in questo caso per ottenere gli ettari globali di terreno per l'energia utilizzati basta moltiplicare questi per i fattori di conversione EF ed YF.

In molte città la crisi idrica è una questione centrale della gestione urbana. Le fonti di acqua potabile normalmente sono lontane dai punti di maggior prelievo e quindi c'è spesso un enorme dispendio di energia per la distribuzione. Spesso la disponibilità di acqua potabile non risulta sufficiente a soddisfare centri di prelievo così concentrati come le città, d'altra parte la qualità dell'acqua che raggiunge i rubinetti è molto spesso scadente poiché durante il percorso da monte a valle subisce continue pressioni dai sistemi antropici e produttivi che attraversa. Di conseguenza le città, Le megalopoli in particolare, soffrono spesso una dura crisi idrica.

Tutti questi fattori non sono tenuti in considerazione dall'approccio dell'IE, che risulta senz'altro valido per ambiti nazionali ma lacunoso per gli ambiti urbani, soprattutto dal punto di vista della localizzazione del ciclo integrato delle acque. L'algoritmo utilizzato infatti, si avvale di un dato di consumo di energia dovuto al trasporto, alla distribuzione ed al trattamento delle acque che non varia in funzione della vicinanza dei bacini idrici, della permeabilità dei sistemi territoriali analizzati e dell'utilizzo di sistemi di recupero delle acque bianche.

La somma tutte le aliquote relative ad ogni sottocategoria degli impatti provocati in termini di terreno per l'energia restituisce il valore di terreno per l'energia associato alla categoria Abitazioni ed Infrastrutture

Superficie Edificata

Nella metodologia di riferimento per il calcolo dell'IEU, per ottenere gli ettari globali di superficie edificata occupata da abitazioni ed infrastrutture, si moltiplica semplicemente il dato di occupazione, fornito dall'Ufficio Urbanistico del comune, per i rispettivi valori dei fattori di equivalenza e di resa, dati statistici relativi ad ambiti globali.

Anche per costruire la reale Superficie Edificata di una determinata area è necessario legare questo sub-indicatore agli indici urbanistici reali ed alla effettiva Superficie Fondiaria dell'ambito analizzato. Allo stato attuale manca un'interpretazione ed una caratterizzazione dell'IEU in relazione agli indici che descrivono la forma della città. Uno studio di questo tipo può rappresentare un interessante punto di partenza per caratterizzare l'intera Impronta Ecologica Urbana. E' proprio in funzione della densità abitativa che la città genera diverse impronte ecologiche di trasporti, alimenti e rifiuti e quindi, inserire una precisa rappresentazione della città nei dati di input dell'IEU, rappresenta un elemento fondamentale sia per l'attendibilità del modello stesso che per le potenzialità di progettazione, monitoraggio e gestione dell'ambiente ecologico urbano.

3.2.1.3 Trasporti

La categoria Trasporti, che si riferisce al consumo di carburanti e all'area occupata dalle strade e dalla ferrovia, contribuisce all'impronta, per le tipologie di territorio "terreno per l'energia" e "superficie edificata", anche se le ricadute ambientali degli agenti inquinanti non riconducibili direttamente ai gas serra consumano anche altre tipologie di terreno in quanto agiscono direttamente sulla fertilità di quello agricolo e sulla qualità dei pascoli; a livello macro sono tenuti da conto anche i trasporti navali ed aerei, ma anche nel calcolo dell'impronta ecologica urbana dovrebbero essere contabilizzati poichè, per la maggior parte dei casi, questi viaggi sono compiuti proprio da cittadini che si spostano da una località all'altra per svago o lavoro. Questo significa che anche il mare subisce le pressioni dovute al trasporto.

In sostanza, l'analisi da eseguire sulla categoria trasporti potrebbe essere implementata, a livello urbano, analizzando gli effetti diretti che l'inquinamento dovuto ai trasporti esercita anche su altre tipologie di terreno attraverso la misurazione di PM10, metalli pesanti e tutti gli altri agenti inquinanti attualmente non considerati dalla metodologia.

Terreno per l'energia

Questa voce è influenzata dai consumi di carburante che si hanno all'interno della città. Stimare l'effettiva quantità di carburante consumato, però, risulta alquanto difficoltoso, per cui comunemente si considera il carburante venduto. Il dato relativo ai quantitativi di carburante venduto, suddiviso per le categorie benzina, gasolio e gpl, è attinto da fonti statistiche. Per ottenere gli ettari globali di terreno per l'energia necessari per abbattere la CO₂ prodotta dall'uso di questi carburanti, si è proceduto, come per l'uso di combustibili fossili nella voce "Abitazioni ed Infrastrutture", utilizzando la seguente formula

Terreno per l'energia (mq) = consumo annuale Carburante(l) * I fattore di conversione (g di CO₂ /l) * 1000 * II fattore di conversione (ha/t di CO₂)

Dove il **I fattore di conversione** assume il valore di: 2,3 per la benzina; 2,6 per il gasolio e 1,8 per il gpl. A questo punto, ottenuti gli ettari, per avere gli ettari globali pro capite basta moltiplicare per i rispettivi coefficienti di EF ed YF ed, infine, dividere per il numero di abitanti.

Per il calcolo dell'IEU dovuta al trasporto privato viene quindi utilizzata la descritta metodologia, pur sapendo che non è del tutto giusto utilizzare questo dato, in quanto il carburante venduto in una determinata area potrebbe essere utilizzato sia all'interno che all'esterno dell'area stessa. Allo stesso modo anche le vetture che circolano nell'area analizzata potrebbero aver fatto rifornimento fuori dal territorio stesso per cui l'utilizzo delle vendite risulta essere accettabile come metodo, sempre ipotizzando che i flussi in uscita compensino quelli in entrata.

A questi valori si è aggiunto anche il consumo del **trasporto pubblico locale**. Per ottenere questo dato si considerano i km percorsi in un anno dai mezzi pubblici distribuiti in funzione del consumo medio di carburante di un autobus. L'Impronta Ecologica associata al trasporto con mezzi pubblici ha comunque un impatto modesto (ca. 2%) dell'IE legata al trasporto in generale. D'altro canto il trasporto pubblico collettivo rappresenta il sistema più ecologico in assoluto per la mobilità urbana, ed è per questo motivo che è auspicabile, in ambito urbano, un massivo utilizzo di autobus, tram metro e servizi di mobility-sharing ad alimentazione elettrica ed ibrida che permettano di azzerare la produzione di particolato e di polveri sottili, oltre a quella di anidride carbonica.

E' proprio sotto questo aspetto di caratterizzazione della tipologia di trasporto pubblico che il calcolo classico dell'IEU può essere migliorato. Ogni tipologia di trasporto ha la propria Impronta Ecologica Specifica, come illustra la seguente tabella, e non è più sufficiente utilizzare un coefficiente di conversione generico rappresentativo di tutti i trasporti pubblici. Dal lato del reperimento dati è necessario invece attingere ad un database che contabilizzi la quantità di passeggeri per Km di ogni tipologia di trasporto pubblico. La stessa considerazione fatta per i

pendolari che utilizzano l'auto circa il bilanciamento del flusso di trasporto passeggeri del trasporto pubblico in ingresso ed in uscita rende accettabile il fatto che il modello utilizzato trascuri questi contributi.

Superficie Edificata

Grazie ai dati forniti dall'Ufficio Urbanistica del Comune, è possibile avere direttamente gli ettari di suolo occupati da strade e ferrovie. Questo dato va moltiplicato per i fattori di equivalenza e di resa, così da ottenere gli ettari globali di superficie degradata dovuta all'occupazione delle vie di trasporto. Grazie alla disponibilità di precisi dati di partenza è possibile ricostruire esattamente la pressione esercitata su questa tipologia di terreno.

3.2.1.4 Beni di Consumo

La categoria "Beni di consumo" include tutti quei beni consumati che non sono di natura alimentare. Per risalire alle varie categorie di beni consumati viene applicato il medesimo metodo utilizzato nella categoria "Alimenti", ovvero seguire la suddivisione ed i dati dell'ISTAT ricavando il dato in euro, applicando poi nuove approssimazioni per il calcolo dei terreni produttivi associati al loro consumo.

Terreno per l'Energia

Per calcolare il terreno per l'energia associato al consumo di questi beni non alimentari si è introdotta una nuova grandezza, l'**energy intensity**, applicando la seguente formula:

Terreno per l'energia (mq) = Spesa Media Annuale Pro-Capite (€/ab)*Energy Intensity (MJ/€)*Fattore di Assorbimento CO2 (mq/MJ)

L'**Energy Intensity** è una grandezza simile all'Embodied Energy, che esprime i MJ di risorse energetiche necessarie per produrre 1 € di un determinato bene (Mongelli et al., 2006).

Terreno agricolo, Pascoli, Foreste

Per calcolare l'impronta relativa a tutte le altre tipologie di territorio che servono per avere i beni di consumo considerati, ovvero il "terreno agricolo", i "pascoli" e le "foreste", essendo difficile rapportare il dato economico disponibile al dato quantitativo richiesto dalla matrice fornita da Wackernagel, sono utilizzati direttamente i parametri relativi al consumo, in dollari, riportati nel testo "How Big is Our Ecological Footprint?" di Wackernagel et al., 1993 che si riferisce a dati non successivi al 1993. La procedura prevede di considerare il valore medio del cambio dollaro/Lira

al'anno dell'analisi di Wackernagel, nel 1993, per poi attualizzare il dato con il calcolo dell'inflazione cumulata negli anni dal 1993 all'anno di riferimento. Ottenuto il dato in dollari e relativo al 1993 si sono applicati i coefficienti proposti nel libro sopra citato per calcolare l'Impronta.

Questo metodo non rispecchia l'attuale impronta ecologica dei beni di consumo in quanto i parametri utilizzati si riferiscono a cicli produttivi di vecchi di ca. 20 anni, periodo durante il quale si è registrato un notevole avanzamento tecnologico. Anche in questo caso la costruzione di un Database costituito da LCA ed Analisi Energetiche più recenti può rappresentare una buona strada per potenziare lo strumento.

3.2.1.5 Servizi

Questa categoria include tutti i servizi di cui un cittadino medio fa uso, ad esempio la lavanderia, le visite mediche, ecc... I terreni produttivi su cui influisce sono quelli del territorio per l'energia e la superficie edificata. Anche in questo caso, avendo il dato della spesa in euro, si è applicata la formula utilizzata anche per i beni di consumo:

Terreno per l'energia (mq) = Spesa Media Annuale Pro-Capite (€/ab)*Energy Intensity (MJ/€)*Fattore di Assorbimento CO2 (mq/MJ)

Convertendo i mq in ettari e moltiplicando per Ef ed YF si è ottenuto gli ettari globali necessari a sostenere ciascun servizio, la cui somma fornisce l'indicazione sull'Impronta data da questa categoria per quanto riguarda il terreno necessario ad abbattere la CO2 prodotta

Superficie Edificata

Il dato relativo alla superficie occupata dai servizi è stato fornito dall'Ufficio Urbanistica del Comune che va semplicemente moltiplicato per i fattori di equivalenza e di resa relativi a questa tipologia di terreno per ottenere la rispettiva Impronta.

Per questa categoria di consumo valgono le osservazioni fatte per gli alimenti ed i beni di consumo circa la costruzione di un database di facile aggiornamento che contenga l'analisi del ciclo di vita di produzione alimentare, di beni consumo e di servizi.

3.2.1.6 Rifiuti

Nella trattazione classica la categoria "rifiuti" richiede sia terreni per l'energia per assorbire tutta la CO2 prodotta dalla combustione, dalla degradazione e dallo smaltimento dei rifiuti generati

all'interno del comune, sia foreste per la carta non riciclata, che la superficie edificata, ovvero il territorio occupato da discariche ed inceneritori.

Terreno per l'Energia

Per analizzare l'Impronta Ecologica associata ai rifiuti bisogna, innanzitutto, distinguere tra rifiuti differenziati e indifferenziati, perché entrambe le categorie di rifiuto porteranno alla produzione di CO₂, ma a parità di quantitativi di rifiuti, il recupero contribuirà in maniera differente. I dati relativi alla raccolta dei rifiuti sono disponibili nei rapporti annuali APAT. Sia per i rifiuti differenziati che per quelli indifferenziati, il calcolo del terreno per l'energia avviene nel medesimo modo:

Terreno per l'energia (mq) = produzione media annuale pro-capite (Kg/ab)*Embodied Energy (MJ/€)*(1-%Energia Recuperata)*Fattore di Assorbimento CO2 (mq/MJ)

Dove per ciascuna tipologia di rifiuto differenziato è tabellata una determinata **% di energia recuperata** durante il trattamento che è differente per ogni tipologia di rifiuto, mentre per il rifiuto indifferenziato questa % è 0. Anche in questo caso ottenuti i mq di terreno per l'energia necessari, bisognerà trasformarli in ettari e poi moltiplicarli per i coefficienti EF ed YF, al fine di ottenere l'Impronta Ecologica associata.

Oggi sappiamo che, come accade per i trasporti, i rifiuti hanno implicazioni anche per il terreno agricolo, i pascoli ed il mare, soprattutto nelle aree in cui la gestione del ciclo integrato dei rifiuti è poco virtuosa. A livello locale è più giusto rilevare quindi, oltre alla quantità di rifiuti prodotta dai cittadini, le emissioni ed i rifiuti pericolosi generati dalle realtà produttive insediate nell'ambito locale analizzato piuttosto che riferirsi a dati statici nazionali o addirittura canadesi. In questo modo da una parte si è coerenti con l'approccio proposto da El Bouazzaoui e ripreso da questo studio circa la specificazione delle attività industriali all'interno della categoria Abitazioni e Infrastrutture, misurandone le relative emissioni inquinanti, dall'altra si ha un quadro più completo ed esaustivo degli agenti inquinanti provocati da un ambito urbano, completato nella rappresentazione anche dalle sue attività industriali specifiche.

Foreste

Per calcolare il quantitativo di foresta abbattuta per avere la carta utilizzata, ma che ora è diventata rifiuto, si è applicata la formula proposta da Wackernagel nel suo foglio di calcolo (Wackernagel *et al.*, 2000):

foresta (mq) = quantità (kg) * fattore di conversione da carta a foresta (m3/kg) * footprint intensity (gm2/m3) / 600 * ((1-% riciclata)*0,8)

Dove

- Il **fattore di conversione da carta a foresta** indica quanti m3 di foresta servono per ottenere 1 kg di carta, ed è pari a 1,65;
- La **footprint intensity** del legno è pari a 6,469.

Dopo aver trasformato i mq in ettari e aver moltiplicato per EF ed YF si ottiene l'Impronta associata gha pro-capite .

Superficie Edificata

Al fine di contabilizzare la superficie edificata relativa alle categorie di rifiuto vanno analizzate le superfici occupate da discariche ed inceneritori, isole ecologiche, marciapiedi e impianti di smaltimento e trattamento di varia natura attraverso un'analisi conoscitiva localizzata che ne permetta un monitoraggio trasparente costante.

Dal punto di vista della tecnologia a servizio del ciclo dei rifiuti già oggi esistono aziende specializzate nel riciclo e nel recupero dei materiali. Con la crescita del mercato delle materie prime secondarie nasceranno aziende che si dedicheranno esclusivamente alla ottimizzazione dei processi di riciclo e quindi il coefficiente utilizzato nell'impronta ecologica dovrà essere periodicamente aggiornato in relazione all'avanzamento tecnologico dei processi industriali.

Sarà quindi importante costruire un database che racchiuda LCA ed Analisi Energetica sia dei processi di riciclo dei materiali che di quelli di trattamento dei rifiuti, attualmente limitato a discariche ed inceneritori, per di più contabilizzati esclusivamente come superficie edificate. Nella trattazione classica non è tabellato infatti l'impatto che genera il trattamento stesso del rifiuto in termini di INPUT ed OUTPUT di processo che è differente non solo per ogni materiale, ma anche per ogni tecnologia di trattamento, adatta generalmente a determinate tipologie di rifiuto.

3.2.2 Biocapacità Urbana. Tipologie di Terreno

L'altro dato fondamentale da definire, dopo aver stimato l'Impronta Ecologica è il deficit o surplus ecologico relativo ad quello stesso sistema antropico. Come detto la Biocapacità rappresenta

l'effettiva disponibilità di aree in grado di fornire risorse ed energia e di assorbire le emissioni e i rifiuti.

Per il calcolo della Biocapacità si considera la superficie ecologicamente produttiva presente all'interno del territorio analizzato, suddivisa secondo le varie tipologie. Come abbiamo visto già per l'Impronta Ecologica Globale, per rendere confrontabili i valori di biocapacità con quelli dell'Impronta Ecologica si moltiplica la quantità di ciascuna tipologia di terreno ecologicamente produttivo per i rispettivi fattori di equivalenza EF e di resa YF.

$$B = A * YF * EF$$

L'Indice di produttività YF misura la produttività specifica di ogni terreno e sono tabellati dal *Global Footprint Network* su base nazionale in funzione dell'uso del territorio e dell'anno di rilevamento. Il coefficiente dovrebbe rappresentare i fenomeni naturali come piovosità o qualità del suolo così come lo stato della tecnologia locale. Tutti i dati di produttività sono misurati a partire da coefficienti di conversione di livello globale. Se da una parte è vero che la globalizzazione impone questo tipo di approccio per l'Impronta Ecologica Globale, d'altra parte la filiera corta, che è ritenuta fondamentale nelle economie urbane e suburbane, non è tenuta in considerazione da questo approccio.

Tutte le tipologie di terreni hanno una propria procedura di calcolo basata sui propri coefficienti di conversione specifici a meno di quello per l'energia e per le Abitazioni ed Infrastrutture. Il terreno per l'energia è contabilizzato tra le foreste, poiché è l'unica tipologia di terreno che permette di utilizzare una relazione di conversione precisa tra CO₂ assorbita ed energia prodotta.

Per rappresentare fedelmente la Biocapacità Urbana è importante identificare l'uso che si fa del territorio. Utenti diversi possono considerare una determinata zona come utilizzabile per scopi diversi: un suolo di tipo agricolo, per esempio, può essere usato per molteplici tipi di coltivazioni, oppure come pascolo; può essere usato per la caccia, oppure come boschi o aree ricreative. I suoi proprietari lo possono anche vedere come un investimento. Questo concetto è indiscutibile in contesti nazionali, ma in città normalmente i suoli sono pochi, molto costosi e scarsamente produttivi e proprio per questo motivo di solito si configurano come investimenti finanziari e molto raramente come terreni bio-produttivi.

La metodologia 2010, a causa della difficoltà di calcolare il coefficiente di produttività dell'ambiente costruito, equipara la sua produttività a quella del terreno agricolo, partendo dal presupposto che normalmente le città sono state costruite su terreno fertile o vicino ad aree agricole ad alto potenziale produttivo. Volendo però rappresentare in maniera peculiare la città è chiaro che,

nella maggior parte dei casi, il terreno su cui sono costruite ha ormai una bio-produttività prossima allo zero a causa del forte inquinamento che caratterizza le aree metropolitane di tutto il mondo, come lo stesso Wackernagel ha sottolineato nel 2005.

Proprio per identificare questo valore per ogni ambito urbano rappresentato nella cartografia urbanistica locale è auspicabile individuare in maniera puntuale la bio-capacità di quei territori e successivamente caratterizzarli con un valore specifico che tenga conto anche dello stato di conservazione biologico del luogo e che ne permetta una classificazione tra le tipologie di terreno prese in considerazione dalla metodologia dell'IE.

I Coefficienti di Equivalenza – EF – si basano non solo su criteri quantitativi ma anche qualitativi, in termini di quantità di biomassa prodotta compatibile con usi umani, e convertono l'area disponibile proprio in funzione di questi criteri. Il modello utilizzato e sotto rappresentato utilizza livelli di fertilità, in funzione del potenziale produttivo agricolo misurato in termini di livello di sfruttabilità che va da un valore di 0,1 per i terreni non utilizzabili a 0,9 per quelli molto fertili.

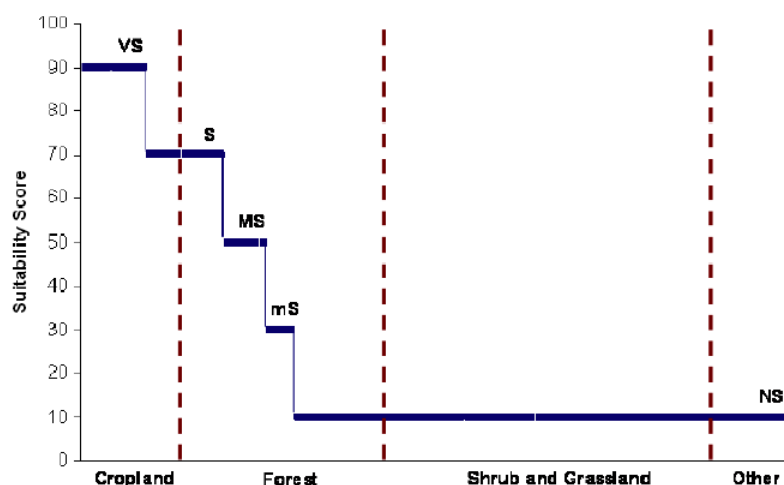


Figura 3.5

Alla fine di questa classificazione possono essere quantificati gli ettari globali disponibili per ogni tipologia di territorio e la relativa alla fertilità specifica delle aree analizzate, ai quali è possibile rapportare le pressioni relative esercitate dalle differenti categorie di consumo.

Eseguito questo calcolo è possibile ottenere il Deficit Ecologico, calcolato come differenza tra la biocapacità e l'Impronta Ecologica. La teoria di Wackernagel specifica che è necessario considerare solo l'88 % della biocapacità, perché un 12 % deve essere mantenuto integro al fine di preservare la biodiversità.

Anche il calcolo della biocapacità si basa su un metodo in continua evoluzione che tende a specificare sempre più nel dettaglio le procedure di calcolo al fine di garantire dati sempre più affidabili. Nell'applicazione in ambito urbano, grazie all'ausilio delle fonti urbanistiche disponibili presso le PA, è possibile approfondire il livello di dettaglio dell'analisi e caratterizzare la biocapacità stessa all'ambito locale analizzato. Le analisi pedologiche dei suoli possono essere utili strumenti per identificare il livello di produttività dei suoli analizzati in relazione alla fertilità specifica del luogo ed alle tecnologie di produzione disponibili. Per quanto riguarda le risorse idriche, nel modello generale, a causa della difficoltà di reperimento di dati omogenei sulla qualità delle acque dolci, sono contabilizzate con valore pari ad 1. Nel calcolo dell'IEU invece, grazie alle carte idrogeologiche comunemente utilizzate, è possibile analizzare localmente la disponibilità e la qualità locale di acqua nelle falde, nelle sorgenti e nei pozzi, in modo da poter meglio gestire e monitorare le risorse idriche.

3.2.3 BPA. Applicazione del modello dell'Impronta Ecologica ai sistemi urbani

Dall'analisi delle BPA sotto riportate si evince che in ambito urbano, in tutte le scale dimensionali e di densità abitativa – Londra, Cuneo, BedZed - tra i terreni produttivi, quello che influisce maggiormente, è il terreno per l'energia, che pesa mediamente per oltre il 90%; si osserva, quindi, come la quasi totalità dell'impronta è dovuta alla quantità di superficie che sarebbe necessaria ad assorbire la CO₂ dovuta a fonti fossili direttamente utilizzate nella combustione o indirettamente a seguito del consumo di energia elettrica incorporata nei beni o consumata negli usi domestici. Le altre tipologie di terreno influiscono in totale per il 10 % circa con la seguente ripartizione: il terreno agricolo ha un peso del 4%, i pascoli del 2,5% e le foreste del 2%. La superficie edificata e il mare hanno entrambi un'influenza inferiore all'1%.

Per quanto riguarda le “responsabilità” delle diverse categorie di consumo il contributo maggiore è dato dalle Abitazioni ed Infrastrutture (59%). Ancora una volta il peso di questa categoria è dovuto principalmente ai consumi energetici che si hanno sia per la vita all'interno della casa, sia per la realizzazione della casa stessa. Particolare attenzione va poi al ciclo dei rifiuti che pesa per l'11%, un peso ancora molo consistente; se da una parte è responsabilità esclusiva dei cittadini, dall'altra può essere incisivamente governata dalla pianificazione sostenibile attraverso l'individuazione delle migliori pratiche e tecnologie per il trattamento dei rifiuti. Anche la categoria dei Trasporti – 8% - è legata sia ai comportamenti del cittadino che alle politiche di trasporto pubblico attuate dalla PA. Per stimolare la popolazione ad utilizzare il trasporto pubblico locale collettivo, in assoluto il più sostenibile, è necessaria un'offerta di mobilità integrata che si avvalga

di una fitta rete infrastrutture combinata a servizi di mobilità condivisa come il bike ed il car sharing. Un'altra voce importante è data dai Beni di Consumo, che hanno un peso percentuale del 14% e dagli alimenti, incidenti per il 6% del totale; la spesa media per questi beni dipende esclusivamente dallo stile di vita di una determinata area, inestricabilmente legato a sua volta al relativo reddito medio. Infine si hanno i Servizi, la cui impronta pesa sul totale solo per il 2%. L'energia è contenuta sotto forma di Embodied Energy, in tutte le categorie di consumo. Risulta quindi confermata l'affermazione precedentemente fatta riguardo l'importanza centrale dell'energia nello sviluppo sostenibile, in particolar modo per quanto riguarda gli ambiti urbani. Le città, quali centri di consumo energetico per eccellenza, sono infatti i luoghi in cui gli interventi volti alla sostenibilità ambientale possono essere i più efficaci in assoluto ed attraverso la leva della sostenibilità energetica che si può puntare a ridurre l'IEU.

3.2.3.1 Londra

La metodologia di calcolo utilizzata per determinare l'Impronta Ecologica di Londra rappresenta un caso unico e particolarmente significativo nella panoramica delle Best Practice disponibili, messa a punto dalla Greater London Authority in collaborazione con Best Foot Forward.

Per la prima volta è stato fornito un quadro generale del "Metabolismo" urbano attraverso l'analisi dei flussi di risorse che la attraversano. Questo approccio ha garantito da un lato la rappresentazione puntuale della città stessa e dall'altro la possibilità di individuare in modo preciso le azioni da mettere in campo per ridurre l'impatto ambientale che è del sistema urbano.

Lo studio si è proposto di raggiungere i seguenti obiettivi:

- Quantificare l'energia e i beni di consumo e sussistenza di Londra e, ove possibile, tracciare la mappa dei flussi di risorse;
- Calcolare l'IE dei londinesi;
- Paragonare l'IE di Londra con quello di altre regioni;
- Paragonare l'IE dei londinesi con la biocapacità mondiale in modo da stimare il livello di sostenibilità;
- Quantificare la sostenibilità di scenari di riferimento alternativi;
- Stimare la disponibilità e la qualità dei dati richiesti per questo tipo di analisi e, in certi casi, identificare gli strumenti per aumentarne l'attuabilità.

Il modello per componenti, lo stesso utilizzato per il reperimento dati nell'analisi dei flussi di Londra, garantisce una puntuale definizione dei materiali che partecipano al metabolismo urbano della città, schematizzato nella BPA analizzata. Questo modello sostituisce le categorie di consumo

cittadine a quelle rappresentate nel modello dell'IE caratterizzando quindi l'indicatore alla vita metropolitana.

La città, vista come organismo urbano, si “nutre” di energia, acqua, alimenti, beni di consumo, materiali da costruzione e servizi, sia importati che prodotti localmente e genera rifiuti parzialmente riciclabili, beni di consumo, servizi e materiali da esportazione. All'interno vi è poi l'esigenza di mobilità. Tutte queste categorie, composte da numerose sottocategorie, sono direttamente collegabili al modello dell'IE attraverso le categorie di consumo comunemente adottate.

La Metodologia

L'analisi dei flussi è una metodologia che qualifica il valore stesso dei flussi con un approccio “per componenti” ed include una serie di schematizzazioni che mettono in luce il “percorso” dei materiali di consumo, consentendo l'identificazione di ogni singolo impatto legato ad un determinato agente inquinante.

L'implementazione di questo tipo di approccio ha reso necessaria l'analisi approfondita dei diversi processi produttivi che a sua volta ha messo in luce tutte le azioni di efficienza ecologica che possono essere messe in pratica negli attuali processi produttivi. Questo tipo di approccio permette inoltre di identificare il contributo dei componenti più piccoli del metabolismo urbano, rendendo l'analisi molto precisa.

Il reperimento dei dati si è basato essenzialmente sui dati di consumo della popolazione, un sub-componente dell'analisi di flusso; la metodologia si è poi focalizzata sull'individualizzazione di trend evolutivi, scenari ed indicatori di riferimento. Per facilitare la reperibilità dei dati ed adattarsi allo strumento di analisi finale, l'IE,.

sono stati collezionati 4.500 documenti e ca. 60.000 dati elettronici secondo la seguente suddivisione, messa a punto con l'ausilio del Best Foot Forward e di numerose associazioni civiche:

- Energia Diretta: Consumi elettrici, di gas, GPL o altri tipi di combustibile.
- Materiali: Produzione, consumo o stoccaggio e smaltimento di numerosi metalli, vetro, legno ed altri materiali di scarto.
- Rifiuti: Materiali di scarto classificati per tipo, settore o tecnica di trattamento.
- Cibo: Consumo di cibo per tipologia (vegetale, carne, cereali, etc.)
- Trasporti: Auto, treni, bus, aereo e altri tipi di trasporto.
- Acqua: Consumo differenziato per settore e perdita di rete.
- Terreni Produttivi: Classificazione in funzione dell'utilizzo del suolo.
- Turismo: IE generata dal flusso turistico londinese.
- Dati Demografici: Popolazione. Utile per calcolare consumo IE pro capite

Molte di queste categorie sono poi state suddivise in sottocategorie. Ad esempio per la categoria dei trasporti, i dati sono analizzati in funzione del mezzo di trasporto e della tipologia di fonte

energetica o carburante utilizzato.

I dati raccolti, come detto, sono stati il punto di partenza non solo per la determinazione dei flussi di materia ed energia e della conseguente IE, ma anche per la costruzione di scenari alternativi di comportamento dei londinesi, costruiti col fine di guidare la popolazione attraverso il “sentiero” della sostenibilità.

I dati collezionati si riferiscono quindi a tre scenari: “business as usual”, “evolutionary” e “revolutionary”.

La qualità dei dati raccolti è stata superiore d ogni aspettativa; grazie alle campagne di sensibilizzazione e dati più precisi riguardano i rifiuti, mentre si sono registrate lacune per il reperimento di dati dei consumer in alcune aree della città.

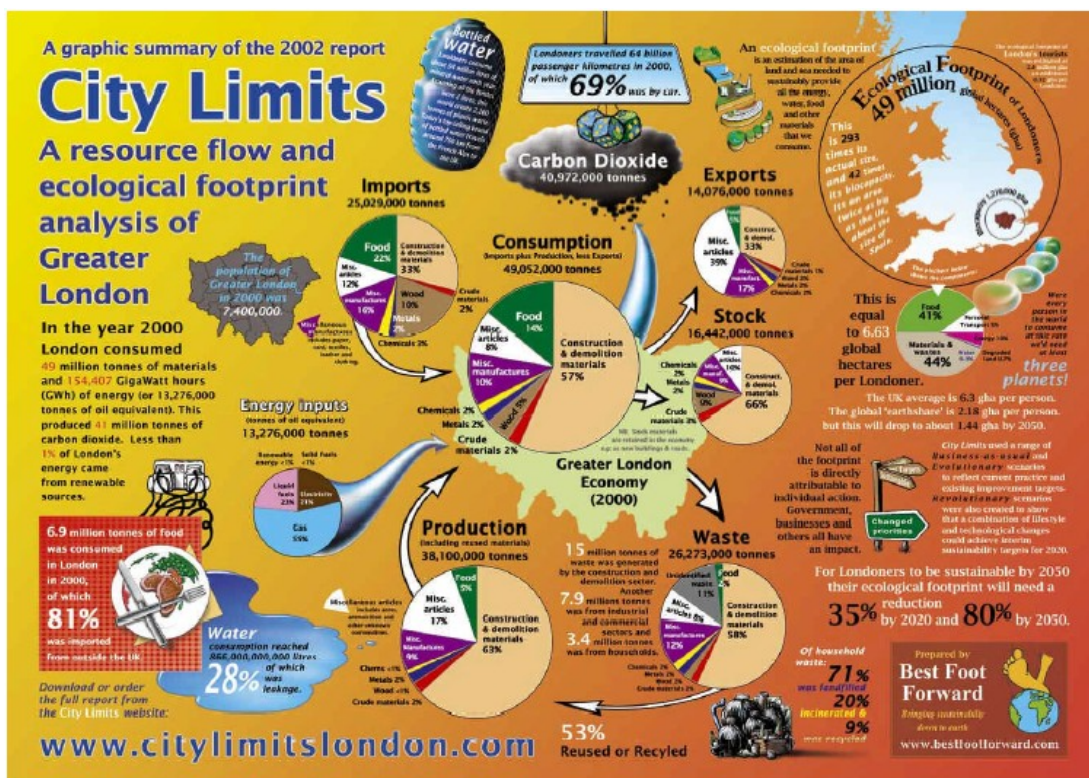


figura 3.6

I principali risultati del progetto sono stati:

- La popolazione del Greater London nel 2000 era 7.4 milioni
- I londinesi hanno consumato 154.400 GWh di energia (equivalenti a 13.276.000 tonnellate di petrolio), che hanno prodotto 41 milioni di tonnellate di CO2
- I londinesi hanno consumato 49 milioni di tonnellate di materiali che corrispondono a 6.7 tonnellate pro capite.
- Il settore dell'edilizia ha consumato 27.8 milioni di tonnellate di materiali.
- Sono stati generati 26 milioni di tonnellate di rifiuti di cui 15 milioni solo dl settore delle costruzioni e demolizioni, 7.9 milioni dal settore dell'industria e del commercio e 3.4

milioni dalla gestione domestica.

- Sono stati consumati 6.9 milioni di tonnellate di cibo di cui l'81% importato dall'estero.
- Il consumo dell'acqua ha raggiunto 876 miliardi di litri di cui 28% erano perdite.
- L'impronta ecologica dei londinesi è stata 49 milioni di ettari globali, che sono 42 volte la sua biocapacità e 293 volte la sua area geografica, cioè 2 volte la grandezza del Regno Unito.
- L'impronta ecologica dei residenti a Londra è stata di 6.63 gha che equivale a quella che dovrebbe esseremedia dell'impronta ecologica dell'intero regno Unito.
- L'earthshare' stimato per il 2050 è di 1.44 gha pro capite. Per i londinesi sarebbe quindi necessaria una riduzione dell'impronta ecologica del 35% nel 2020 e dell'80% nel 2050.
- Sono stati preparati scenari "business and usual" e "evolutionary" per riflettere sulla pratica corrente e creare obiettivi di miglioramento. Scenari "rivoluzionari" sono stati preparati per dimostrare che la combinazione di cambiamenti tecnologici e di comportamento possono realizzare il target di sostenibilità prefissato per il 2020.

Paragonando l'impronta ecologica dei londinesi alla biocapacità di Londra è indicativo il livello a cui la domanda ecologica corrente potrebbe essere soddisfatta dalle risorse locali.

Biocapacità Globale

Per valutare la sostenibilità ecologica dei londinesi nel contesto globale, la loro impronta ecologica è stata paragonata alla biocapacità globale.

La biocapacità globale deriva dalla constatazione che la popolazione globale ha diritto a parti uguali delle risorse bioprodotte della terra.

La domanda di 6.63 gha era maggiore rispetto all'earthshare pro capite di 2.8 gha. Questo dimostra che, su una scala globale, lo stile di vita attuale dei londinesi non è ecologicamente sostenibile.

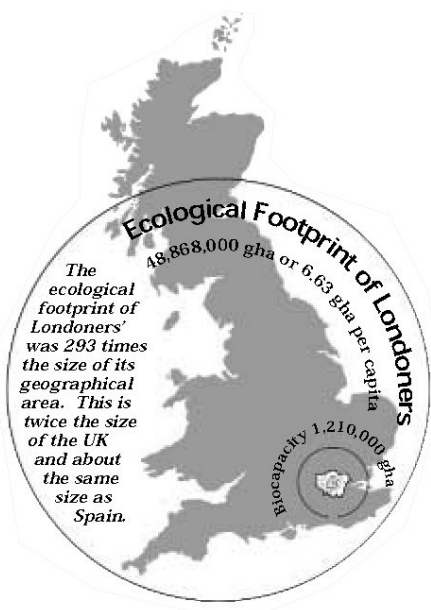


figura 3.7

3.2.3.2 Cuneo

Di seguito si riporta lo studio eseguito da Manuela Baudana sul Comune di Cuneo. Dalla somma delle impronte ecologiche totali associate a ciascuna delle categorie di consumo analizzate risulta che l'Impronta Ecologica di un cittadino del comune di Cuneo è di 9,86 ettari globali. Il valore dell'Impronta Ecologica risulta molto elevato, come vedremo, soprattutto in relazione alla sua biocapacità.

Come comunemente accade nei sistemi urbani tra i terreni produttivi, quello che influisce maggiormente, è il terreno per l'energia, che pesa sul totale per l'89,93 %; si osserva, quindi, come la quasi totalità dell'impronta è dovuta alla quantità di superficie che sarebbe necessaria ad assorbire la CO₂ dovuta a fonti fossili direttamente utilizzate nella combustione o indirettamente a seguito del consumo di energia elettrica incorporata nei beni o consumata negli usi domestici. Le altre tipologie di terreno influiscono in totale per il 10 % circa con la seguente ripartizione: il terreno agricolo ha un peso del 4,20 %, i pascoli del 2,61 % e le foreste dell' 1,83 %. La superficie edificata e il mare hanno entrambi un'influenza inferiore all'1 %, rispettivamente per lo 0,85 % e 0,58 %.

Per quanto riguarda le "responsabilità" delle diverse categorie di consumo il contributo maggiore è dato dalle Abitazioni ed Infrastrutture (58,96 %). Questo è dovuto principalmente ai consumi energetici che si hanno sia per la vita all'interno della casa, sia per la realizzazione della casa stessa. Un'altra voce importante è data dai Beni di Consumo, che hanno un peso percentuale del 13,95 %; infatti la spesa per questi beni all'interno del comune di Cuneo è decisamente elevata, in quanto i cittadini cuneesi presentano un reddito medio abbastanza elevato. A queste categorie

segue quella dei Rifiuti, con un' influenza dell' 11,24 % dovuta principalmente alla raccolta indifferenziata, che seppur in diminuzione, ha ancora un peso notevole. A seguire si hanno le categorie dei Trasporti e degli Alimenti, i quali influiscono rispettivamente per il 7,64 % e il 6,25 %. Infine si hanno i Servizi, la cui impronta pesa sul totale solo per l' 1,97 %.

Un altro dato importante da definire, dopo aver stimato l'Impronta Ecologica del comune, è il deficit o surplus ecologico che si ha. È stato per cui necessario calcolare la Biocapacità del territorio comunale di Cuneo, che come visto in precedenza, rappresenta l'effettiva disponibilità di aree in grado di fornire risorse ed energia e di assorbire le emissioni e i rifiuti. Per il calcolo della Biocapacità si è considerata la superficie ecologicamente produttiva presente all'interno del comune, suddivisa secondo le varie tipologie. I dati sono stati forniti dal Settore Programmazione del Territorio del Comune di Cuneo.

Per rendere confrontabili i valori di biocapacità con quelli dell'Impronta Ecologica si è moltiplicato la quantità di ciascuna tipologia di terreno ecologicamente produttivo per i rispettivi fattori di equivalenza EF e di resa YF, da cui risulta che l'effettiva Biocapacità offerta dal territorio comunale è di 0,55 ettari globali per abitante.

A questo punto è possibile ottenere il Deficit Ecologico, calcolato nel seguente modo, ovvero come differenza tra la biocapacità e l'Impronta Ecologica. In realtà è necessario considerare solo l'88 % della biocapacità, perché un 12 % deve essere mantenuto integro al fine di preservare la biodiversità.

In conclusione, dunque, si può notare come i cittadini di Cuneo abbiano stili di vita assolutamente lontani dalle soglie assolute di sostenibilità.

Il valore di Impronta Ecologica pro-capite per il comune di Cuneo, di 9,86 gha, può essere confrontato con altre realtà italiane e con il valore di Impronta dell'Italia stessa calcolato nel Living Planet Report del 2006. L'Impronta Ecologica media di un cittadino italiano risulta essere, nel 2003, di 4,2 ettari globali, meno della metà di quella di un cittadino cuneese.

Il cittadino del comune di Cuneo consuma, in media, beni e servizi in misura superiore rispetto alla media italiana, oltrepassando di gran lunga la soglia media di sostenibilità dei servizi naturali utilizzati. Anche il grado di autosufficienza è più elevato rispetto a quello di Cuneo, infatti, seppur ancora basso, il territorio italiano è in grado di soddisfare il 23,8 % dei fabbisogni medi di un italiano.

Anche il confronto con altre città o province italiane risulta essere non totalmente comparabile, nonostante non siano più presenti limitazioni riguardanti le differenze di scala. Questo perché la metodologia di calcolo dell'Impronta Ecologia è in continua evoluzione e, per cui, alcune analisi presentano tecniche di calcolo differenti, ad esempio:

Con un metodo simile i ricercatori del Cras (centro Ricerche Applicate per lo Sviluppo Sostenibile) hanno recentemente ottenuto per la Provincia di Bologna (Cras, 2001) e per la Provincia di Catanzaro (WWF Italia, 2001) rispettivamente valori pari a 7,45 ed a 4,23 unità di superficie procapite, nonché Bolzano (1999) 4,03 gha/cap, Piacenza 23,81 (2001) Bologna 8,3 (2001), Imola 6,47 (2000).

Come si può osservare dalla Tabella 26, a parte il comune di Piacenza, tutti gli altri comuni presentano un valore di Impronta Ecologica minore rispetto a quello di Cuneo sebbene, per rendere il dato realmente comparabile, non si devono utilizzare i coefficienti correttivi EF ed YF, in quanto di successiva introduzione nel metodo rispetto ai calcoli eseguiti nel 2001; in tal caso l'Impronta Ecologica di Cuneo risulta pari a 5,79.

3.2.3.3 *Bed Zed*

Di seguito si riporta lo studio eseguito da Francesca Conti su BedZed, Beddington Zero Energy Development uno degli interventi di insediamento sostenibile tra i più innovativi in Europa, realizzato da un promotore di edilizia sociale, il Peabody Trust, una delle più importanti associazioni londinesi operanti nel settore dell'edilizia abitativa, conosciuta per i suoi progetti di riqualificazione economica e sociale delle aree più povere della capitale britannica.

Zero Energy Development indica il principale obiettivo e risultato ottenuto: costruire un insediamento che non consumi in alcun modo energia fossile. Sono tre le linee concettuali che hanno animato la progettazione dell'intervento, tre aspetti che la gestione attuale monitora e tende a migliorare.

4. la dimensione sociale

BedZed presenta un regime misto di proprietà e affitto; un mix di spazi per attività, lavoro e residenza; una densità urbana, quale massa critica per la creazione di una comunità; la vicinanza a servizi più ampi; le case hanno propri spazi all'aperto; la luce naturale come fattore specifico di progettazione degli ambienti; qualità dell'aria e comfort; la riduzione della necessità di trasporto privato; un consorzio per la gestione comune del parco auto (car sharing); una gestione dell'insediamento da parte degli stessi abitanti; internet e nuove tecnologie nella gestione dei servizi e delle reti; enfasi sulla possibilità di ciascuno di scegliere uno stile di vita senza carbonio.

5. efficacia economica

I costi di costruzione sono in linea con i costi della cooperativa; gli affitti sono convenzionati;

forte enfasi sulla possibilità di acquisire in proprietà spazi e alloggi; margini rispetto al valore di mercato; la pianificazione preventiva aumenta di fatto il valore dell'insediamento; il mix di vita e lavoro assiste la nascita di nuove attività; la presenza di collegamenti facilita la fruizione dei trasporti pubblici; l'orientamento generale tende all'autonomia dalla scarsità di carburante; le bollette energetiche sono molto contenute; i collegamenti internet sono dedicati all'informazione della comunità, alle necessità delle imprese locali, all'erogazione di servizi.

6. compatibilità ambientale

Nessun uso di combustibile fossile; uso del 100% di energie rinnovabili; case a riscaldamento zero; riscaldamento solare passivo; fotovoltaico per la produzione di energia per 40 veicoli elettrici; risparmio del 50% dell'acqua potabile; trattamento ecologico dell'acqua in loco; sistemi naturali di ventilazione eolica; pochi materiali ad alto contenuto energetico incorporato; uso di legno riciclato; uso di acciaio strutturale riutilizzato; cogenerazione combinata di calore ed energia dagli scarti vegetali urbani (biocombustibile); incremento del valore ecologico del sito; il suolo come risorsa finita; servizi di biciclette; servizi di riciclaggio.

Costruito su un'area dismessa a sud di Londra, BedZed è un insediamento di 83 alloggi a conduzione mista - abitazione sociale, convenzionata e in vendita -, con più di 3.000 m² di spazi dedicati a vita e lavoro, commercio al dettaglio e usi ricreativi. La scelta di definire il progetto in base a un'alta densità abitativa riflette l'importanza di usare appieno risorse limitate quale la disponibilità di suolo edificabile e al contempo fornisce la massa critica per l'attivazione di servizi comuni quali i trasporti. Al contempo, consente l'orientamento e la concentrazione necessari per un uso passivo della luce solare nella sua componente termica e luminosa.

La sostenibilità viene generalmente considerata un elemento aggiuntivo, causa di costi supplementari sgraditi alla maggior parte dei costruttori. L'approccio di BedZed è invece quello di identificare materiali e sistemi tecnologici che, sebbene considerati di utilità marginale, diventino parte essenziale delle prestazioni del manufatto, all'interno di un sistema integrato in cui tutti componenti contribuiscono al risultato finale: l'involucro edilizio nel suo rapporto con il contesto ambientale - orientamento, superfici, scambi energetici -, gli abitanti e le loro abitudini, la localizzazione delle funzioni, la produzione e il consumo energetico.

Sono state utilizzate tecniche analitiche di valutazione energetica per indagare le condizioni in cui i sistemi passivi sono sufficientemente efficaci da sostituire – e non solo integrare - i sistemi attivi. Ciò ha portato a una riduzione diretta dei costi e delle risorse impiegate, cioè degli investimenti generalmente necessari per i sistemi tecnici, dei costi di manutenzione degli impianti e dei costi

energetici da sostenere.

Il risultato principale della valutazione energetica a BedZed è di mettere in discussione il riscaldamento convenzionale degli spazi. Molti edifici hanno fonti di riscaldamento interne agli edifici stessi, provenienti dalle persone e dalle attività che vi si svolgono, che non vengono valorizzate: dimensionare l'isolamento dell'involucro, localizzare le attività nei siti migliori, integrare forme di recupero di calore sono alcune soluzioni sperimentate a BedZed. Ma il progetto è andato più in là del previsto. Di fatto, con l'aumento degli standard di isolamento termico e con il recupero integrato del calore, il periodo dell'anno in cui il riscaldamento è necessario si accorcia, ma il costo degli impianti non si riduce in proporzione. A Bed Zed è stato invece eliminato l'impianto di riscaldamento, così nel bilancio dell'operazione c'è anche il vantaggio determinato dal risparmio dell'investimento. Questo piccolo miracolo tecnologico è stato possibile attraverso un sapiente isolamento dell'involucro edilizio, attenzione all'orientamento dell'edificio, installazione di micro-cogeneratori in grado di produrre contemporaneamente energia elettrica e calore per il quartiere, il fotovoltaico, l'utilizzo di camini a vento, il recupero delle acque piovane e reflue, riuso e riciclo dei rifiuti e raccolta differenziata ed infine attenzione nella scelta dei materiali da costruzione, individuati tra materiali certificati.

BedZed è un intervento di particolare interesse, utile a dimostrare come sia già possibile implementare un alto livello di sostenibilità negli interventi di grande scala e realizzarli in termini economicamente convenienti. Perché la sostenibilità divenga veramente un agente della trasformazione delle abitudini sociali e dei processi economici e produca un qualche effetto sull'ambiente, è importante che venga concretamente sperimentata nei grandi investimenti, per soddisfare gli obiettivi economici e sociali e dare vantaggi a tutti gli attori coinvolti.

Un primo periodo di monitoraggio ha già mostrato il successo dell'iniziativa dove, a paragone con interventi simili:

- il consumo per il riscaldamento dell'acqua è in media più basso del 45%
- il consumo di elettricità per l'illuminazione, la cucina e gli impianti è inferiore del 55%
- il consumo d'acqua è minore del 60%

Bed Zed, oltre a ricevere un'ampia pubblicistica internazionale, è il progetto vincitore dello Stirling Prize 2003. Notevole anche il successo di mercato. L'interesse suscitato ha permesso addirittura di ottenere un margine nella trattazione economica migliore del previsto e complessivamente maggiore del prezzo di mercato, andando a coprire gli investimenti fatti sulla qualità del progetto: formazione del personale, supervisione e controllo della qualità, ricerca di

progetto, studio di impatto ambientale, prove di laboratorio e simulazioni, assistenza legale, programmazione dei tempi.

BedZed ha riscosso successo quanto ha investito in innovazione, diventando un intervento esemplare. Anche il rapporto con l'amministrazione locale è aumentato in qualità e, a partire da questa prima esperienza, i responsabili ora suggeriscono e collaborano con i professionisti e gli operatori per identificare possibili pratiche sostenibili all'interno del normale processo di concessione dei permessi di costruire.

L'Impronta ecologica è un metodo per misurare quanto "pesa" il nostro stile di vita sulle risorse naturali a disposizione; più è lieve più è sostenibile. Viene misurato in ha/persona, ovvero il numero totale indica quanti ettari di terreno biologicamente produttivo ha bisogno ciascun individuo per soddisfare i differenti stili di vita. BedZed è riuscito a far pesare poco la propria presenza: 1,9 quando la media mondiale è 2,4 e mediamente lo stile di vita tradizionale inglese pesa 6,19. Il peso medio dell'Italia è 4,2.

L'esperienza del Bed Zed è la dimostrazione del fatto che, è possibile raggiungere livelli di pressione paragonabili in termini di gha rispetto alla capacità di assorbimento dell'area agendo sul risparmio energetico e la produzione di energia da fonti rinnovabili, anche in ambito urbano dove c'è maggiore densità abitativa e di consumi e minore biocapacità pro-capite. Questo studio si propone di dimostrare come, in alcune trasformazioni territoriali, è addirittura possibile creare un effetto di mitigazione dell'IEU delle aree limitrofe, qualora attraverso le fonti rinnovabili sia possibile soddisfarne il relativo fabbisogno energetico.

3.3 Possibili approfondimenti del modello

Molte tra le principali città del mondo hanno calcolato la propria impronta ecologica; la maggior parte dei casi studio analizzati però si sono serviti della metodologia classica dell'IE applicata ad un ambito locale che si limita a riportare i dati nazionali calcolati da Wackernagel alla realtà locale, senza però tenere conto del reale ecosistema nel quale è inserito un determinato centro urbano. Questo tipo di approccio risulta essere poco rigoroso ai fini della pianificazione urbanistica e territoriale, perché è proprio dal rapporto con il contesto locale climatico, architettonico e sociale, con la peculiare Biocapacità di un territorio e con le capacità gestionali dei politici locali che si riesce ad individuare la reale soglia di sostenibilità ambientale urbana potenzialmente raggiungibile in una determinata area. Sebbene infatti l'Impronta Ecologica sia molto diffusa ed utilizzata e sintetizzi tutti i parametri che misurano la sostenibilità ambientale, ancora oggi non sono stati costruiti algoritmi che mettono in relazione questo indicatore globale con i processi produttivi e

antropici che partecipano alla vita della città, ed è proprio questo l'aspetto che deve ancora essere realmente analizzato per migliorare l'efficacia dell'Impronta Ecologica nel ruolo di indicatore per la sostenibilità dei sistemi urbani.

Fanno eccezione Londra, Calgary ed alcuni casi studio portati avanti direttamente dal Global Footprint Network o da Best Foot Forward, che hanno prestato particolare cura ed attenzione ai dati di input ed alla loro interpretazione. In particolare Londra, si è spinta a calcolare il City Limit, parametro minimo di sostenibilità da raggiungere entro il 2020. Lo studio stabilisce, in base alla biocapacità ed alle potenzialità di mitigazione delle FER e degli strumenti di gestione urbana sostenibile la percentuale di riduzione di consumo di suolo (gha – ettari globali) rispetto ad un target di biodiversità minimo del 12%, il minimo necessario utile alla sopravvivenza della specie umana, ed analizza la *Greater London Area* dal punto di vista del metabolismo urbano mediante lo studio dei flussi di materia, risorse ed energia che attraversa la città di Londra annualmente.

Anche a livello sovralocale la teoria dell'Impronta Ecologica si sta spingendo ben al di là della prima enunciazione. Uno studio effettuato a livello globale dal WWF, oltre a calcolare biocapacità ed impronta ecologica di ogni singola nazione ed a fissare parametri come il 12% della biodiversità, si spinge a calcolare la popolazione ottimale che il mondo potrebbe sopportare oggi non solo mantenendo l'attuale stile di vita, ma anche riducendolo nelle aree in cui la pressione antropica esercitata è sproporzionata rispetto alla superficie territoriale nazionale.

Questi due semplici esempi evidenziano come, con l'integrazione dell'IE con il LCA ed altri strumenti di valutazione simile, è possibile esplorare ed espandere il modello dell'Impronta Ecologica che, da generico indice per la sostenibilità globale, può essere trasformato in un indice utile a misurare i flussi urbani schematizzati da Wolman e Hahn nella definizione del metabolismo urbano.

Questo studio si propone di analizzare in maniera approfondita le relazioni che intercorrono tra il modello del metabolismo urbano e la metodologia di calcolo dell'IEU, con lo scopo di caratterizzare l'Impronta Ecologica al reale ambiente urbanizzato analizzato. Questo approccio consente di evidenziare criticità e potenzialità di ogni territorio ed indicare le tipologie di terreno che sono disponibili in sufficiente quantità e quelle che subiscono troppe pressioni in relazione alla propria estensione. E' chiaro che un deficit registrato nel terreno per l'agricoltura risulta essere molto più pesante della mancanza di pascoli o superficie edificabile proprio perché, come visto in precedenza, i terreni classificati come agricoli sono i più fertili in assoluto. Una mancanza di terreno poco produttivo in contrapposizione ad un'abbondanza di terreno agricolo non comporterebbe una diminuzione della qualità della vita; viceversa, dovendo coltivare beni di sussistenza in terreni poco produttivi a causa della pressione antropica eccessiva delle aree si avrebbe da una parte una diminuzione della qualità del prodotto, dall'altra una maggiore occupazione di suolo in valore

assoluto in quanto, a parità di estensione territoriale, un terreno più fertile è in grado di garantire una maggiore produttività.

La caratterizzazione dell'Impronta Ecologica all'ambiente locale attraverso indici e strumenti dell'urbanistica classica permette quindi di analizzare anche le relazioni che intercorrono tra sistemi antropici limitrofi che, dovendosi vicendevolmente compensare, mettono in moto un meccanismo di scambio di materia ed energia e soprattutto dei suoli necessari a produrre quanto necessario alla sussistenza della popolazione di una macroarea costituita da centri urbani caratterizzati da differenti pressioni antropiche. L'esempio più lampante può essere la superficie di mare di cui una città ha bisogno per soddisfare la domanda di pescato. Qualora la città non si trovi lungo corsi fluviali o sulla costa sarà costretta ad avvalersi del pescato prodotto da un ecosistema limitrofo dotato di questa risorsa. La classificazione puntuale dell'IE degli ecosistemi locali del tipo *bottom up* permetterebbe quindi di rappresentare fedelmente il territorio sia in termini di fertilità dei terreni che di processi di produzione industriale ed abitudini domestiche, monitorarne i flussi che lo attraversano a diverse scale territoriali e pianificare interventi di gestione sostenibile del territorio in funzione del potenziale di mitigazione delle azioni possibili.

3.3.1 La caratterizzazione dell'Impronta Ecologica Urbana

L'Impronta Ecologica media di un uomo, nel 2005, è pari a ca. 1,5 ettari globali, meno di un terzo di quella di una città. Per spiegare questo risultato si deve considerare il fatto che la comparabilità tra i due valori non è totale, poiché si tratta di due studi a scale molto differenti (urbana e globale), che quindi utilizzano metodologie e approssimazioni diverse fra loro ed hanno una disponibilità di terreno produttivo decisamente diversa in relazione alla superficie territoriale antropizzata. Un confronto tra i due valori deve quindi tener conto di queste limitazioni, ed è per questo motivo che, al fine di rendere omogeneo il calcolo ed il confronto, è auspicabile un'evoluzione del metodo dell'Impronta Ecologica di tipo *bottom up* che ne descriva il reale metabolismo.

L'approccio seguito per il calcolo dell'Impronta Ecologica di Londra mette le basi per la costruzione di un metodo per il calcolo dell'IEU realmente caratterizzato agli usi ed alle peculiarità del territorio. Grazie all'analisi dei flussi in ingresso ed in uscita dal territorio, delle importazioni e delle esportazioni è infatti possibile ricostruire uno scenario di consumi che rende il processo più chiaro e governabile, proprio perchè gli impatti sono riconducibili alla vita reale del contesto urbano e non a dati statistici nazionali.

Dal punto di vista della biocapacità è ancora più importante specificare la reale disponibilità di territorio produttivo in ambito urbano. La trattazione di Wackernagel, come visto in precedenza,

classifica i terreni in funzione della fertilità e associa i terreni costruiti a quelli agricoli, quelli con l'energia alla foresta e le acque dolci al mare. Se a livello globale queste approssimazioni si possono rivelare attendibili, al livello locale è giusto distinguere i reali terreni produttivi da quelli dichiarati inutilizzabili, in modo da costruire, attraverso l'approccio bottom-up, un insieme di IEU che, sommate, rendono più attendibile anche l'IE sovra locale e così eliminare le approssimazioni accettate nel National Footprint Account.

Se è vero che il terreno scelto per assorbire energia assimilabile alla foresta perché solo in questo modo è possibile costruire una relazione rigorosa energia-ambiente, al contrario il terreno urbanizzato (abitazioni e infrastrutture), così come l'acqua dolce non può essere assimilata al mare.

E' importante specificare che la città durante la sua espansione ha occupato quasi esclusivamente terreno eccezionalmente fertile, ma oggi è errato considerare il terreno urbanizzato al pari di quello agricolo perché l'uomo, a causa della cementificazione, dell'estrazione mineraria o dell'inquinamento, ha alterato profondamente l'equilibrio biologico del territorio.

Allo stesso modo il mare non può rappresentare l'acqua necessaria al metabolismo urbano. Infatti, se a livello globale sono considerate esclusivamente le esigenze legate al cibo proveniente dal mare, nell'analisi locale è fondamentale identificare la disponibilità di risorse idriche e la localizzazione delle stesse al fine di calcolare la quantità di acqua a disposizione di ogni cittadino per i suoi usi quotidiani.

E' proprio quindi attraverso l'identificazione e la specificazione del metabolismo urbano che è possibile caratterizzare l'IE all'ambiente urbano e paragonare con rigore parametri di sostenibilità urbana a quelli di sostenibilità globale.

L'ulteriore passo da compiere rispetto allo studio fatto per Londra è rappresentato dalla ricerca dei legami tra l'ambiente costruito e l'Impronta Ecologica che ne deriva, al fine di metterlo in relazione con densità abitativa e la capacità specifica di assorbire le pressioni antropiche del territorio, sulla scorta dello studio compiuto dal Rapporto Living Planet 2002 che ha misurato il numero di abitanti ottimale che la terra potrebbe ospitare in una condizione di sviluppo sostenibile. Applicando questo tipo di approccio al contesto urbano è possibile misurare la densità massima di insediamento antropico che teoricamente un dato terreno può ospitare, e metterlo in relazione a diversi scenari di regimi di consumo, utilizzo di fonti rinnovabili e attuazione di politiche di gestione sostenibile del territorio.

3.3.2 L'Integrazione dell'Impronta Ecologica con altri strumenti di valutazione: IE, LCA, ACB

L'Impronta Ecologica è un indicatore globale che racchiude una serie di caratteristiche che ne hanno permesso una rapida diffusione a livello mondiale. Proprio il massivo utilizzo di questo indicatore ha portato numerosi ricercatori ad approfondire questa metodologia adattandola al proprio caso particolare. La stessa IE globale si avvale di coefficienti di conversione che traducono le informazioni raccolte per i cittadini canadesi in parametri utili al calcolo dell'impronta ecologica di tutte le nazioni del mondo. Questo approccio risulta talvolta approssimativo perché, come visto in precedenza, molto spesso i processi produttivi ed i materiali utilizzati hanno contenuti energetici ed Output ambientali profondamente differenti in ogni area del pianeta.

Proprio per questo motivo è stata più volte segnalata, durante l'analisi della metodologia classica dell'IE urbana, l'esigenza di avvalersi di strumenti di analisi del ciclo di vita come l'LCA e l'Analisi Energetica in grado di specificare tutto il percorso di vita di un dato materiale.

I generi alimentari, i beni di consumo, i servizi sono tutte categorie che, per essere realmente attendibili, hanno bisogno dell'ausilio di database che permettano di ricostruirne il reale contenuto di energia e materia; anche le abitazioni possono avvalersi di questi strumenti per identificare il contenuto energetico dei materiali da costruzione piuttosto che degli strumenti di gestione sostenibile degli edifici. I trasporti ed i rifiuti potrebbero invece avvalersi di questi strumenti per analizzare il ciclo di vita e le prestazioni ecologiche di ogni tecnologia disponibile per mitigare l'IE che proviene da queste due categorie. Sembra quindi imprescindibile l'integrazione di LCA e Analisi Energetica.

Il Best Foot Forward dal canto suo ha da tempo avviato una campagna di studi sull'IE collegata direttamente ad attività industriali o umane che costituirà un valido punto di partenza per la costruzione di un database comune che analizzi ogni aspetto dell'attività antropica.

Del resto il *component based approach* è un approccio già molto vicino al Life Cycle Assessment sebbene la metodologia sia molto più semplice e rapida e consideri una minore quantità di variabili. Il computo dell'IE è basato sulla modellazione di un oggetto con lo scopo di descriverne i flussi di materiali ed energia e può, per sua stessa natura, essere applicato a differenti attività. Poiché è proprio attraverso il metodo per componenti che si ottiene la rappresentazione fedele dell'area analizzata, questo approccio restituisce i risultati in assoluto più vicini alla realtà, nel caso in cui siano disponibili dati locali a sufficienza per ogni categoria analizzata. In ogni caso, la combinazione dei due metodi – LCA/EMergia – Component Based Approach – può essere in alcuni casi necessaria, soprattutto quando è possibile solo un'analisi generale del sistema, che va assolutamente integrata con strumenti alternativi. In sostanza si può affermare che i due metodi analizzati sono assolutamente complementari.

L'ENEA è molto attiva nel campo del LCA e ha attivato una serie di collaborazioni, riportate nel dossier 2010 della *Rete Italiana LCA*; questo gruppo di lavoro ha infatti condotto una

serie di approfondimenti sul ciclo di vita di processi e prodotti nel campo chimico, energetico, edilizio ambientale e dei materiali che forniscono un'ottima base di partenza per la costruzione del database a supporto dell'Impronta Ecologica Urbana.

Allo stesso modo l'utilizzo di strumenti quali l'Analisi Costi Benefici, in particolare se detta metodologia tiene conto anche delle esternalità delle singole attività, sembra essere un complemento fondamentale per trasformare l'IE da indicatore globale di sostenibilità a strumento di gestione territoriale sostenibile. L'ACB consentirebbe infatti di valutare i benefici economici, nel senso generale del termine, provocati da una determinata azione o attività e relazionarli al costo energetico ed ambientale della stessa, permettendo quindi di individuare il punto di ottimo tra risparmio ed investimento ecologico.

Alcuni limiti metodologici possono essere osservati dall'uso di un'impronta ecologica al livello di un'organizzazione o di un'attività.

Il fatto che alcuni dati non siano disponibili va sottolineato. I dati dell'impronta ecologica in questo momento sono forniti senza alcuna indicazione sul loro livello di incertezza. La conoscenza del livello d'incertezza relazionato ai coefficienti di conversione (ad esempio le "embodied energies" sono date senza nessuna indicazione riguardo al loro livello di incertezza) e i dati raccolti possono dare un primo contributo per stimare l'incertezza dell'impronta ecologica, che è principalmente utilizzata in maniera qualitativa e a scopo comunicativo. Se è utilizzata come strumento decisionale, è necessaria una riflessione sulla sua sensibilità ed incertezza.

Senza ignorare la variabilità sui fattori di conversione secondo le fonti scelte, l'applicazione dei diversi metodi per il calcolo dell'impronta di certe categorie di consumo variano tra l'1% e il 36% tra i risultati dell'impronta di queste categorie di consumo. Ma uno dei principi base del calcolo dell'impronta ecologica, quando compaiono diverse ipotesi, è di scegliere l'opzione che dà il risultato più debole di impronta ecologica in modo da dare più forza al messaggio: "Noi stimiamo l'impronta ecologica minima dell'organizzazione in questione".

- In teoria e dai calcoli nazionali, l'approccio component-based fornisce risultati più precisi e dettagliati dell'approccio basato sul National-account. Ad ogni modo, questa precisione è limitata perché il numero di coefficienti di conversione sono limitati e i coefficienti mancanti sono il più delle volte calcolati considerando l'energia costituente dell'impronta e così la sua area di CO₂.
- Non esistono standard o database ufficiali riguardo la embodied Energy e gli impatti ambientali dei vari materiali. Questo problema, che è anche presente all'interno del LCA e rende difficile confrontare i diversi studi facendo sì che i risultati varino in base alle ipotesi fatte.

- Le embodied energies per lo stesso materiale variano con i diversi processi produttivi possibili. A seconda dei paesi e dei processi in cui sono coinvolti, le embodied energies, e così i fattori di conversione, possono fortemente variare, il che rende difficile confrontare i vari sistemi.
- La determinazione dell'impronta ecologica dell'energia fossile non tiene conto di una serie di gas serra e altre sostanze inquinanti .
- Ipotizziamo che 1/3 della CO₂ sia assorbita dall'oceano, ma che questo 1/3 potrebbe arrivare a 0 in un lungo periodo di tempo per via della possibile saturazione della biosfera. In questo caso l'impronta di CO₂ sarebbe molto più alta.
- Gli aspetti tossicologici e l'utilizzo dell'energia nucleare non sono vengono sufficientemente presi in considerazione: l'energia nucleare, ad esempio, viene considerata allo stesso modo dei combustibili fossili nonostante gli effetti di questi due fonti siano molto differenti. Wackernagel riconosce questa mancanza e difende l'idea che è impossibile quantificare gli effetti dei rifiuti radioattivi in termini di superficie perché le aree hanno una capacità di assimilazione pressoché nulla.

Capitolo 4 – L’Impronta Ecologica Urbana. Caratterizzazione del modello

L’Impronta Ecologica Urbana è definita come l’area biologicamente produttiva per soddisfare il fabbisogno di energia necessario ad alimentare il Metabolismo Urbano, sintetizzabile con flussi in ingresso, dispersioni e flussi in uscita (cap. 2). Le città influiscono per l’80% sull’Impronta Globale e raccolgono più del 50% della popolazione mondiale. La città è costituita essenzialmente dalle aree residenziali e per il terziario, le aree pubbliche e le infrastrutture, tutte misurabili con l’ausilio degli indici utilizzati comunemente in tecnica Urbanistica. Le abitazioni sono il centro della vita dell’uomo e per questo motivo è fondamentale poter intervenire per minimizzare la pressione che oggi è esercitata da questo ambito urbano. Le infrastrutture che costruiamo oggi – strade, impianti energetici, abitazioni, sistemi idrici, espansioni urbane – saranno utilizzate almeno per i prossimi 50 o 100 anni. Poiché le infrastrutture determinano come noi viviamo, le decisioni prese oggi influenzano seriamente il livello e la tipologia di consumo di risorse per i decenni a venire. Scelte sbagliate possono imprigionarci in scenari evolutivi ecologicamente (ed economicamente) rischiosi. Scelte corrette, invece, permettono di costruire le fondamenta per un reale sviluppo sostenibile. Come possiamo rendere le nostre città adatte al futuro? Di cosa avremo bisogno tra qualche decennio? Come possiamo indirizzare i nostri investimenti su abitazioni e infrastrutture che permetteranno alle città di essere protagonista nell’era della transizione verso la sostenibilità ed offrire benessere in un mondo con poche risorse?

Oggi l’urbanista ha la responsabilità di pianificare la sussistenza energetica dell’insediamento al fine di promuovere la generazione distribuita e democratica dell’energia. Le soluzioni da adottare si ricercano proprio nella possibilità di utilizzo dei nuovi (in realtà antichissimi - Vitruvio) principi di progettazione bioclimatica, dell’imposizione di determinati coefficienti di trasmissione termica e di un approccio sostenibile integrato in fase di programmazione. La soluzione più auspicabile deriva proprio da un approccio integrato alla pianificazione che permetta di chiudere il ciclo di produzione, consumo e smaltimento di qualsiasi risorsa in uso all’interno dell’ambito, con il conseguente “obbligatorio” utilizzo delle FER, delle tecniche di smaltimento e gestione di acqua e rifiuti e del controllo dei flussi di mobilità privata, pratiche ampiamente diffuse nell’Europa Centrale e nella Scandinavia, messe in moto ai tempi della crisi energetica degli anni settanta, e recentemente adottate anche da alcune realtà italiane (Bolzano, Carugate, Varese Ligure).

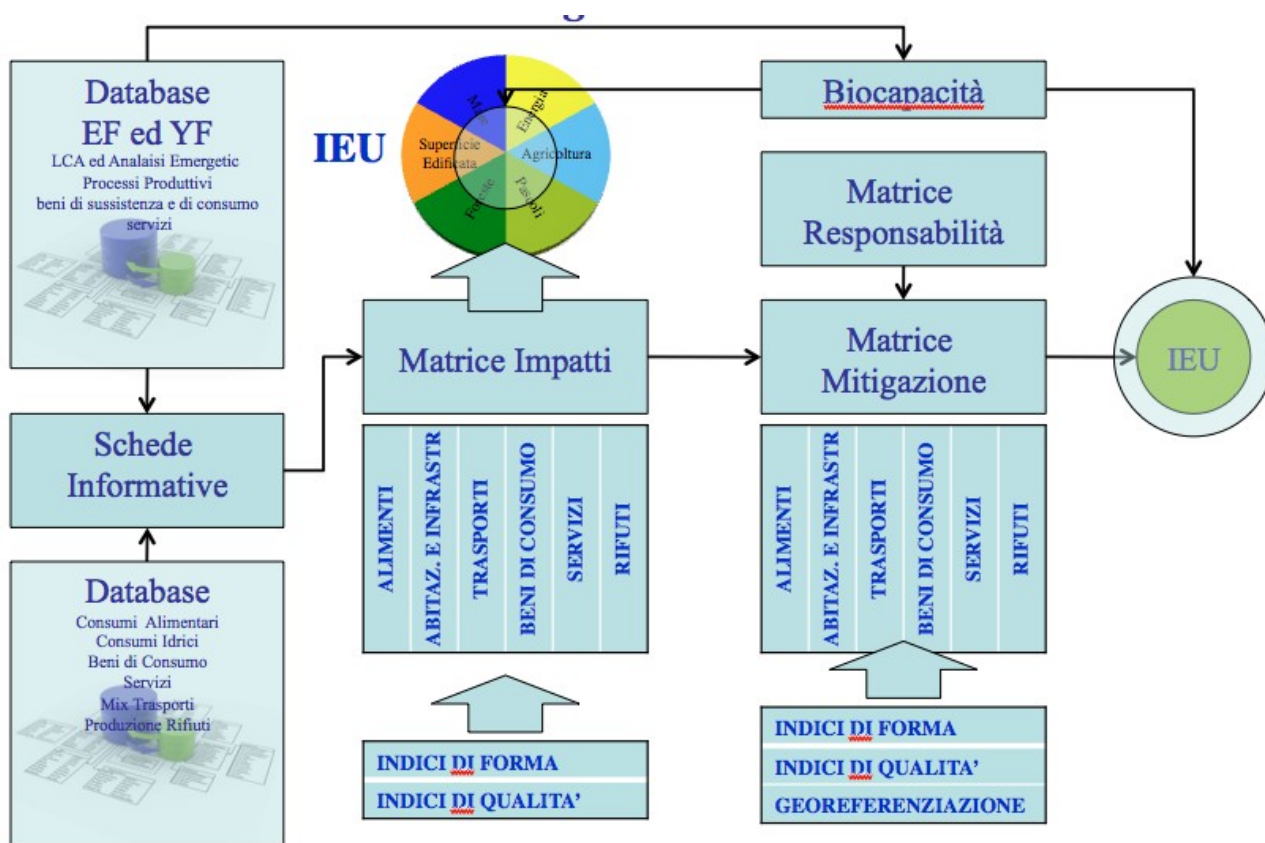
Per dare risposta ai quesiti appena posti e dare supporto agli urbanisti ed ai decisori politici nel processo di *governance* è emersa la necessità di caratterizzare il modello all’ambito urbano con lo scopo di fornire uno strumento in grado di supportare i decisori nelle scelte fondamentali per la sostenibilità delle comunità future, mettendoli nelle migliori condizioni di conoscenza del problema; a questo proposito sono stati individuati legami tra gli indici urbanistici e l’Impronta Ecologica, in modo da fornire un indicatore più caratterizzato per le applicazioni locali che consenta da un lato di rappresentare al meglio la forma dell’ambiente costruito e le attività antropiche che vi si svolgono all’interno e dall’altro di mettere a punto una procedura di calcolo che, opportunamente integrata con LCA, ACB ed Analisi Energetica, sia in grado di guidare il decisore sia sotto il punto

di vista ambientale che economico permettendogli di confrontare i risultati ottenuti con un indicatore utilizzabile per qualsiasi scala territoriale. Il modello che si propone, se applicato a sistemi territoriali limitrofi, può rappresentare una valida metodologia per la costruzione dell'Impronta Ecologica con procedura bottom-up, senz'altro più precisa di quella top-down che è correntemente utilizzata per la mole di dati da elaborare e la relativa reperibilità e soprattutto per il fatto che al momento, a meno di recenti casi che si occupano addirittura dei processi industriali o di prodotti, l'indicatore IE è applicato soprattutto in contesti nazionali e sovranazionali.

In questo capitolo è illustrata la metodologia applicata per il calcolo caratteristico dell'IUE relativa alla categoria Abitazioni ed Infrastrutture e sono indicati i settori che godono delle stesse potenzialità; nella seconda parte è invece descritta la metodologia utilizzata per il rappresentare il contributo di alcuni interventi di mitigazione attuabili nella categoria Abitazioni e Infrastrutture, e sono evidenziate le potenzialità di caratterizzazione riconducibili alle categorie di consumo Trasporti e Rifiuti.

4.1 L'Impronta Ecologica Urbana. Definizione del modello

La ricerca effettuata si pone come obiettivo fondamentale lo studio del metabolismo urbano e l'approccio alle sue problematiche secondo gli ormai diffusi criteri di sviluppo sostenibile, analizzati nel capitolo 2 insieme alle migliori tecnologie disponibili per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili, per il ciclo dei rifiuti per la mobilità urbana, con lo scopo di costruire uno strumento di governo sostenibile del territorio che ne permetta un'accurata analisi ed interpretazione ed una corretta gestione delle risorse.



4.1.1 Impronta Ecologica e Metabolismo Urbano

L'impronta Ecologica è un indicatore costruito attraverso una matrice che mette in relazione le categorie di consumo con le tipologie di territorio necessarie, determinando quindi un legame leggibile tra risorse disponibili, in termini di terreno agricolo, per l'energia, per il pascolo per le foreste, per l'ambiente costruito e la superficie marina, e le risorse utilizzate in un determinato contesto antropico.

Come visto nei precedenti capitoli, da tempo la città è studiata come un organismo dotato di un proprio "CICLO BIOLOGICO". Wolman e successivamente Hahn hanno rappresentato questo ciclo biologico identificando degli INPUT e degli OUTPUT caratteristici della città. La questione è stata affrontata sia disaggregando i settori di analisi che seguendo un approccio integrato che ha affrontato quindi tutte le sfaccettature del ciclo biologico urbano. Questo approccio ha portato a sviluppare una serie di esperienze, casi studio e conseguentemente strumenti di valutazione utili a calcolare il ciclo biologico di un sistema antropico. Già nell'esperienza del calcolo dell'IE di Londra e dell'isola di Wight, il territorio è stato rappresentato con l'ausilio del modello del Metabolismo Urbano. In questi due lavori è stato preso come riferimento il "Mass Balance UK", pubblicato dalla Royal Society for Nature Conservation, che descrive il bilancio di massa che caratterizza le città e lo associa all'IE, utilizzando sia il metodo NFA che, ove possibile, il metodo per componenti.

Analizzando più da vicino la matrice dell'IE e confrontandola con gli INPUT e gli OUTPUT del

Metabolismo Urbano, appare evidente che le categorie di consumo possano rappresentare gli INPUT e gli OUTPUT del sistema urbano e le tipologie di terreno rappresentano la BIOCAPACITA' legata alla Superficie Territoriale del sistema antropico considerato (Il cerchio che rappresenta graficamente la Città).

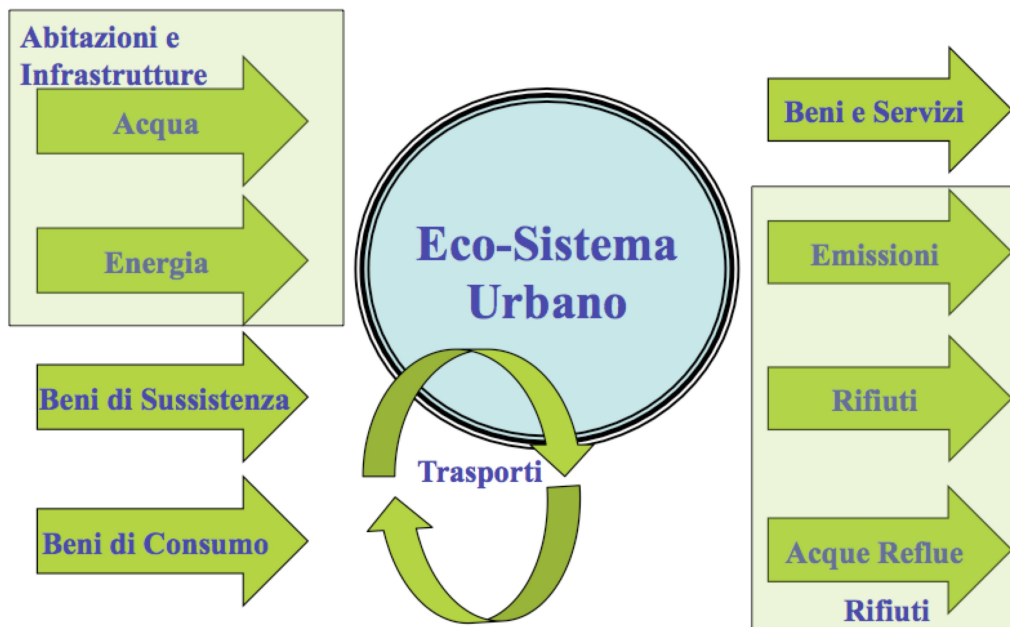


figura 4.1

Questa considerazione ci spinge a ricercare i legami che possono mettere in relazione le due metodologie ed ottenere uno strumento che identifichi, nel particolare, tutte le risorse utilizzate dal sistema urbano e le associ ad un indice universalmente riconosciuto a livello mondiale, non solo in ambito scientifico.

Le Categorie di Consumo dell'IE possono essere associate alle categorie di materia in ingresso ed in uscita dalla città, aggregando l'Acqua e l'Energia necessaria al fabbisogno dell'ambiente costruito alle "Abitazioni ed Infrastrutture" e i Rifiuti, le Emissioni e le Acque Reflue alla categoria unica "Rifiuti". I Beni di Sussistenza e di consumo ed i Servizi, sono invece puntualmente rappresentati nel modello proposto da Hahn, al quale va aggiunta la mobilità urbana e territoriale (navi, treni ed aerei) che rappresenta la categoria Trasporti.

Tutte le categorie di consumo sono ben rappresentate da questo modello nella struttura dell'IE che però è deficitaria, come già osservato, nella rappresentazione delle emissioni inquinanti non assimilabili ai gas serra e del ciclo delle acque. Quest'ultimo potrebbe essere analizzato con l'ausilio di metodologie specifiche di settore, come la Green & Blue Water dello Stockholm Environment Institute. Allo stesso modo la rappresentazione delle infrastrutture legate ai trasporti potrebbe essere più puntuale con modelli di analisi particolari di settore, come il COPETR messo a punto dall'APAT.

Infine, per adattare al meglio i flussi di beni di sussistenza e di consumo alle Macrocategorie di consumo dell'IE è necessario identificare tutte le sottocategorie dei flussi di materia che partecipano al Metabolismo Urbano e, attraverso l'LCA, associarle ad IE specifiche.

4.1.2 Propositi ed obiettivi della tesi

Questo strumento fornisce utili indicazioni sulla popolazione che un'area urbanizzata può soddisfare e dunque, attraverso l'implementazione di appositi indici, sulla relativa densità minima e massima in funzione però dello stile di vita, della tipologia urbana, del livello di efficienza energetico, dall'utilizzo di fonti rinnovabili e dal sistema di mobilità e dalla gestione idrica e dei rifiuti. Ogni azione di miglioramento di uno di questi parametri muta il rapporto dell'ecosistema urbano analizzato con la densità caratteristica e con il potenziale di mitigazione dell'Impronta Ecologica che una trasformazione territoriale può avere sull'ambiente circostante. E' proprio sul rapporto tra la densità e le leve della sostenibilità - energia, persone, acqua, rifiuti e mobilità - che si può costruire una matrice che produca diversi livelli di compatibilità ambientale e scenari di riferimento che aiutino il decisore politico ad utilizzare i giusti strumenti e le migliori tecnologie per costruire una moderna città sostenibile. Lo scopo della pianificazione sostenibile contemporanea è quello di individuare una dimensione territoriale che minimizzi gli impatti dovuti allo spostamento di persone e beni, con riferimento particolare a quelli di sussistenza, riduca le dispersioni energetiche dovute alla trasmissione ed alle inefficienze di generazione, ed ottimizzi il rapporto del territorio con i suoi sottoprodotti, i rifiuti e le emissioni.

L'obiettivo è quindi quello di identificare le leve della sostenibilità attraverso la caratterizzazione del Metabolismo Urbano e quindi della relativa IEU; la scomposizione del Metabolismo in elementi fondamentali permette da un lato di individuare in maniera univoca le relazioni che intercorrono tra una pressione ed un impatto e dall'altro di identificare degli algoritmi che siano in grado di intervenire direttamente sul modello e modificarne i risultati.

Come esempio significativo sarà specificata l'IEU di Abitazioni ed Infrastrutture e saranno indicati i possibili approfondimenti della metodologia proposta. L'implementazione di questo modello vuole rappresentare il primo passo verso la caratterizzazione dell'IEU sotto tutti gli aspetti del governo del territorio, (anche se si è affrontato solo l'aspetto legato all'ambiente costruito) e ci si aspetta sia di trovare i legami tra densità abitativa ed IEU, che di identificare precisamente tutti i componenti che entrano nel calcolo dell'IEU.

4.1.3 Caratteristiche e struttura del modello

L'approccio ad un problema complesso come quello urbano è tipicamente multisettoriale, e comprende quindi una serie di temi caratterizzati da una fitta rete di relazioni reciproche e dalla produzione di una moltitudine di esternalità dei singoli settori di intervento ricadenti su tutti gli altri ambiti coinvolti. D'altra parte, un approccio sistemico, integralmente caratterizzato dalla sostenibilità intesa nel senso più ampio del termine, permette da un lato di semplificare il problema e di conoscere più a fondo le particolarità dei diversi ambiti di azione, e dall'altro di internalizzare nel sistema urbano, inteso ora come sistema unico, le esternalità dei singoli settori di intervento.

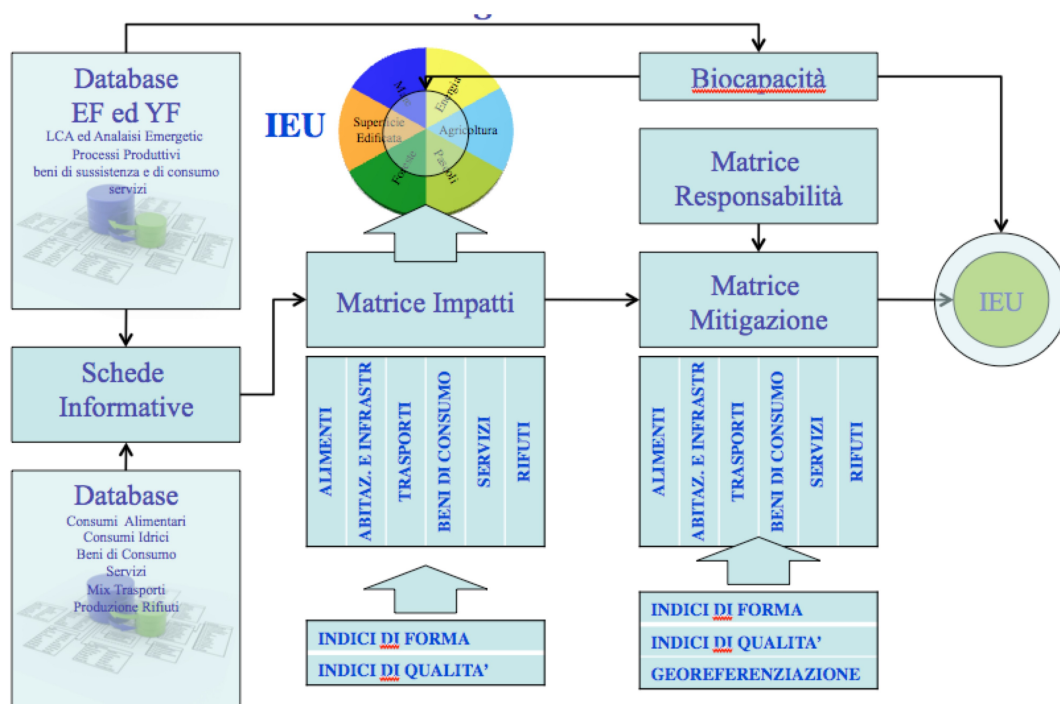


figura 4.2

E' proprio in quest'ottica che si è voluta rappresentare la città con un bilancio di massa come è il Metabolismo Urbano. In questo modo sono stati rappresentati tutti gli elementi che partecipano alla vita cittadina; il passo successivo è la costruzione di una metodologia che ne consenta il collegamento con il metodo dell'IE.

Come già più volte detto, per caratterizzare al meglio lo strumento è necessario integrarlo con analisi del ciclo di vita dei beni di consumo e sussistenza che intervengono nel ciclo urbano, associandoli alle specificità dei cicli produttivi dei luoghi analizzati. Questo è il primo passo della metodologia adottata poiché, come si può desumere dalla fig. 4.2, l'LCA e l'Analisi Energetica sono strumenti fondamentali per la compilazione delle schede informative che raccolgono i dati necessari al calcolo dell'IEU. Questi due strumenti forniscono le informazioni necessarie a calcolare:

l'IE provocata dai processi produttivi attraverso la costruzione di un database di indici caratteristici di equivalenza e produttività EF ed YF,

l'IE provocata dai prodotti che costituiscono i componenti dei consumi alimentari e idrici

l'IE causata dai trasporti, dai servizi e dalla gestione dei rifiuti.

Il database relativo ad EF ed YF, qualora comprenda l'analisi della capacità produttiva agricola o industriale di determinate aree in funzione di diverse tecnologie, può rappresentare un ottimo strumento anche per la caratterizzazione della Biocapacità che, a questo punto, può essere gestita in relazione alle reali potenzialità produttive del territorio e delle tecniche adottate per la produzione locale di beni. E' pacifico infatti che ogni territorio è caratterizzato da particolari "vocazioni" produttive, sia in relazione alla fertilità del luogo che alle tecniche di produzione, e specificare la Biocapacità in relazione all'uso del territorio permette proprio di analizzare le potenzialità di incremento di una determinata Biocapacità.

Una volta raccolte le informazioni richieste dalle schede informative per il calcolo dell'Impronta

Ecologica si procede al calcolo della Matrice degli Impatti, che rappresenta proprio l'IEU, allocando ogni sub-categoria alla relativa Categoria di Consumo dell'IEU.

La costruzione degli algoritmi necessari al calcolo dell'IEU passano per la caratterizzazione del modello dell'ambiente costruito, attraverso l'utilizzo di un set di indici urbanistici classificati in due categorie: Indici di Forma ed Indici di Qualità Urbana. Questi due set di Indici sono in grado, come vedremo, di rappresentare la superficie territoriale S_t , la fondiaria S_f , quella dedicata ai servizi pubblici S_p e la superficie stradale S_s che, opportunamente caratterizzata dai coefficienti EF ed YF locali, saranno in grado di determinare la Biocapacità Urbana.

Allo stesso tempo i due set di indici sono in grado di classificare la consistenza edilizia e ricalcolare il relativo consumo energetico e rappresentano la base su cui costruire la Matrice di Mitigazione.

Prima di identificare le possibili azioni di mitigazione sono state individuate, attraverso la Matrice delle Responsabilità, le competenze e le responsabilità degli interventi per le singole categorie di consumo.

La Matrice di Mitigazione integra quella degli Impatti con gli Indici Geografici, un set di indici che quantifica ventosità, irraggiamento e piovosità in modo da restituire il potenziale produttivo in termini energetici rispetto alle BTA disponibili per sfruttare le fonti e gestire al meglio il ciclo integrato delle Acque. Gli algoritmi necessari al calcolo della produttività energetica sono stati selezionati da pubblicazioni scientifiche molto specifiche.

L'Impronta Ecologica Urbana Mitigata, è il risultato finale di questa metodologia che si avvale delle relazioni esistenti tra matrici dello stesso ordine perfettamente confrontabili e complementari tra loro. L'IEU Mitigata sarà proprio la differenza tra la matrice degli impatti e quella di Mitigazione e, nel momento in cui il livello di caratterizzazione dello strumento sarà esteso in maniera puntuale anche alla Biocapacità sarà in grado di identificare il potenziale aumento bioprodotto del sistema territoriale analizzato.

La metodologia analizza nel particolare quasi esclusivamente la categoria Abitazioni e Infrastrutture, ma indica numerose potenzialità di caratterizzazione anche per le altre Categorie di Consumo.

4.2 L'Impronta Ecologica Urbana. Procedura di calcolo

Nei paragrafi successivi sono riportate le metodologie di calcolo che sono state implementate per la Matrice degli Impatti e quella di Mitigazione, ed è riportato il criterio che ha portato alla identificazione della Matrice delle Responsabilità.

4.2.1 Matrice degli Impatti

Nella costruzione della Matrice degli Impatti è fondamentale comprendere le varie intenzioni che nascono tra le categorie di consumo e le tipologie di territorio in modo da poterla valutare nello specifico.

Il metodo classico dell'IE non analizza alcuni tipi di agenti inquinanti e ipotizza che la categoria

Rifiuti provoca impatti esclusivamente su terreni per l'energia, foreste e superficie edificata.; questo approccio è accettabile se applicato a livello globale ma può risultare superficiale a livello locale.

Per calcolare la reale biocapacità è necessario infatti valutare la fertilità di un terreno che spesso volte, in città, è declassato a causa delle attività antropiche che si sono susseguite nel tempo. D'altra parte è innegabile che i rifiuti provochino conseguenze anche in altre tipologie di terreno come quello agricolo, i pascoli e soprattutto il mare. Lo stato di conservazione catastrofico della biosfera è sotto gli occhi di tutti ed è causa di danno per tutte le specie del mondo. Basta pensare all'enorme isola di plastica il "Pacific Trash Vortex" che si è formata a causa delle correnti marine ed ai danni che provoca nella catena alimentare, a partire dal plancton, fino ad arrivare all'uomo sottoforma di pesce cucinato. Il Pacific Trash Vortex, che occupa una superficie tra 0,7 e 10 Mln di Km² (compresa cioè tra la grandezza della penisola Iberica e quella degli USA), non è certo la sola catastrofe ambientale provocata dai rifiuti al di là delle tipologie di territorio ipotizzate nella metodologia dell'IE Globale. Basta pensare, senza andare troppo lontano, alla tragica gestione Campana dei rifiuti che ha seriamente compromesso la biocapacità di gran parte del territorio regionale.

Lo stesso discorso può essere fatto per il trasporto, se solo si considerassero i gas diversi dai climalteranti nel computo dell'IE come ad esempio le polveri sottili che tra l'altro rappresentano la componente più pericolosa da gestire in città.

	IMPRONTA ECOLOGICA URBANA - MATRICE DEGLI IMPATTI					
	TIPOLOGIE DI TERRITORIO					
CATEGORIE DI CONSUMO	ENERGIA	AGRICOLTURA	PASCOLI	FORESTE	SUPERFICIE EDIFICATA	MARE
ALIMENTI						
ABITAZIONI E INFRASTRUTTURE						
TRASPORTI						
BENI DI CONSUMO						
SERVIZI						
RIFIUTI						

Neutrale

Pressione

figura 4.3

Tabella 1: Impronta Ecologica Bagnoli

Dall'analisi della Matrice degli Impatti emerge chiaramente che l'Energia, entrando in qualsiasi processo produttivo, di trasporto o di attività umana, è la maggiore responsabile dell'Impronta Ecologica Urbana, addirittura più di quanto non lo sia a livello globale, poiché sono proprio le città i sistemi antropici più densi ed energivori. E' per questo motivo che gli interventi su questa tipologia di terreno, e soprattutto sulle cause di fabbisogno di questa tipologia di terreno, saranno i più efficaci in assoluto. Infatti, se è vero che nessuna delle categorie di consumo interagisce con tutte le tipologie di territorio, a meno dei rifiuti secondo le ipotesi appena fatte circa gli impatti misurabili generati da questa categoria, ogni categoria di consumo produce impatti sul terreno per

l'energia.

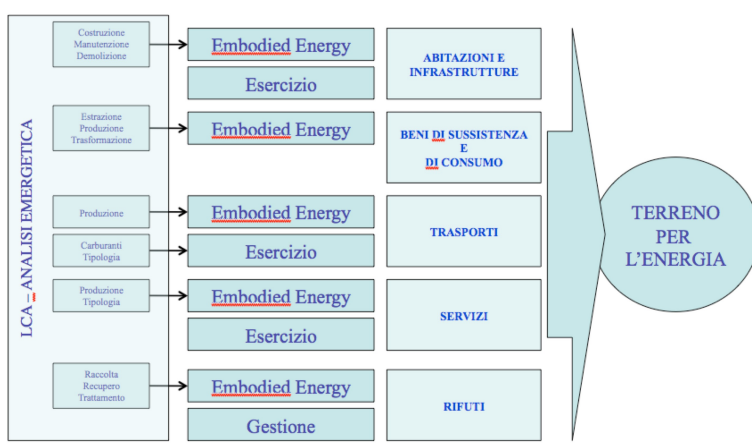


figura 4.4

Analizzando approfonditamente i legami esistenti tra le differenti categorie di consumo e l'energia stessa emerge tutte le categorie sono caratterizzate dalla componente *Embodied Energy*, misurabile appunto con il LCA o alternativamente con l'Analisi Energetica. Da qui nasce l'esigenza di costruire un database sui cicli di vita di processi e prodotti che sarà utile, come mostrato in figura, per il computo specifico di ciascuna categoria di consumo. E' chiaro che il ciclo di vita si dovrà focalizzare su questioni diverse in funzione della categoria e produrrà risultati molto interessanti sotto il profilo della caratterizzazione locale dell'IEU.

La metodologia utilizzata per costruire la Matrice degli impatti, cioè l'IEU, parte dall'analisi dell'ambiente costruito con lo scopo di rappresentare in maniera puntuale la forma della città. Il punto di partenza del modello dell'IEU è stato l'analisi della categoria Abitazione e Infrastrutture; gli indici urbanistici sono stati raggruppati in indici di forma ed indici di qualità urbana secondo lo schema rappresentati in figura. L'insieme di questi indici hanno reso possibile il calcolo dell'IE in funzione del tessuto urbano e della relativa densità abitativa caratteristica.

Grazie a questi indici ed alla classificazione degli immobili per tipologia edilizia è possibile risalire agli indici di prestazione energetica degli edifici (EP) ed all'Embodied Energy della costruzione che, sommati tra loro, rappresentano l'Energia nel calcolo dell'IEU di Abitazione e Infrastrutture.

A questa va poi aggiunta l'IEU relativa alla Superficie Edificata, anch'essa desumibile dagli Indici Urbanistici utilizzati opportunamente trasformata mediante i coefficienti YF ed EF.

La densità, e quindi la relativa popolazione, permette il calcolo dell'IEU provocata sia degli alimenti che dai beni di consumo, oltre a fornire i dati relativi alla produzione di rifiuti. La densità fornisce indicazioni importanti anche sull'IEU dovuta ai trasporti, ma in questo caso non esaustiva. Se da un lato, come vedremo, la densità influisce molto sull'incidenza ambientale dei trasporti, è altrettanto vero che senza adeguate infrastrutture non è possibile raggiungere determinati livelli di sostenibilità. Il metodo per questa categoria, deve essere integrato con ulteriori indici specifici e tecniche di analisi proprie della gestione della mobilità urbana.

Per questo motivo, nei dati di INPUT, per la categoria trasporti, ma anche per quella dei rifiuti per la quale valgono le medesime considerazioni, si è preferito limitarsi ad individuare l'IE specifica di

ogni categoria così come indicato dal metodo dell'IE globale. In ogni caso dalla costruzione di questo modello emerge, come del resto era da aspettarsi, che l'ambiente costruito influenza in maniera più o meno sensibile tutte le categorie di consumo e che quindi gli indici urbanistici classici sono utilizzabili come strumenti per caratterizzare l'IEU.

4.2.1.1 Abitazioni ed Infrastrutture

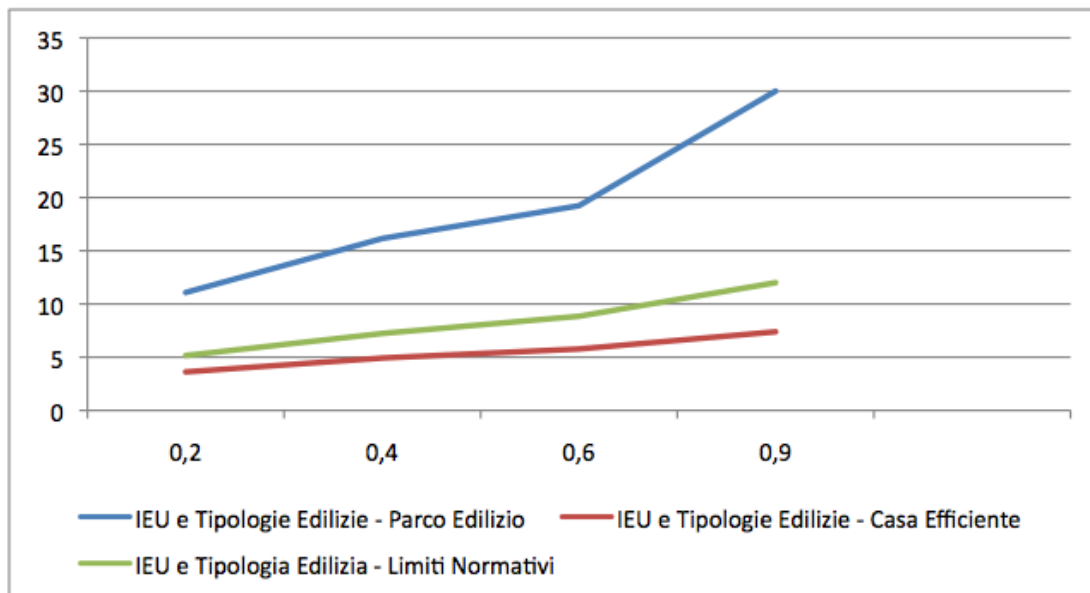
Per implementare una metodologia di calcolo puntuale e rigorosa degli impatti delle Abitazioni ed Infrastrutture è stato necessario individuare quattro tipologie edilizie – isolata, a schiera, in linea, a torre – ciascuno caratterizzato da indici di forma e prestazioni energetiche differenti e calcolare l'impronta specifica di ogni tipologia, che deriva essenzialmente dalla prestazione energetica dell'edificio, collegata a sua volta indissolubilmente dalla forma specifica dell'involucro. In letteratura sono infatti tabellate sia le prestazioni energetiche degli edifici in funzione del rapporto S/V che gli indici urbanistici specifici di ogni tipologia edilizia.

L'IEU caratterizzata per tipologia edilizia è definita come l'area biologicamente produttiva richiesta per soddisfare il fabbisogno energetico e di risorse ed assorbire i rifiuti e le emissioni prodotte. In sostanza misura l'area necessaria a “chiudere” il Metabolismo Urbano di ogni tipologia edilizia. In questa sezione sono stati calcolati tutti i parametri necessari ad identificare l'IEU delle quattro tipologie edilizie classificabili nel seguente modo:

- Isolate
- Schiera
- Linea
- Torre

Il metodo applicato ricalca quello proposto da Wackernagel per l'IE Globale e, ove possibile, caratterizza l'IE specifica di ogni tipologia edilizia. In questo modo sarà più semplice capire le dinamiche che portano ad inefficienze ecologiche del sistema urbano ed intervenire in maniera puntuale per mitigarne il relativo impatto sull'ecosistema ed identificare categorie di consumo e tipologie di terreno che hanno potenziali di mitigazione dell'IE.

In tabella sono riportati tutti gli indici urbanistici che direttamente o indirettamente, sono coinvolti nella determinazione della forma e della qualità urbana e conseguentemente nel calcolo dell'IEU.



Tutti gli indici utilizzati (Mercandino-Urbanistica Tecnica I e II) concorrono alla caratterizzazione dell'IEU, ma quelli fondamentali, caratteristici di ogni tipologia edilizia, sono proprio quelli che sono inclusi negli indici di Qualità e di Forma Urbana poiché intervengono in maniera sensibile sia sulla Superficie Edificata che sul terreno per l'Energia.

Il parametro che lega tipologia edilizia e consumo energetico è il rapporto S/V che mette in relazione la forma dell'edificio – o di gruppi di edifici, città – con la relativa prestazione energetica (EP) che determina a sua volta, sommata con l'Embodied Energy, il terreno utilizzato per assorbire l'energia consumata dalle abitazioni.

L'Embodied Energy, come illustrato precedentemente, è calcolato studiando il ciclo di vita degli edifici ed i materiali da costruzione utilizzati.

Normalmente la vita media di un fabbricato è valutata pare a ca. 50 anni e la quota di “ammortamento ecologico” si calcola proprio su questa durata.

Gli edifici antichi in particolare ed in generale quelli datati più di 50 anni possono quindi essere considerati neutri dal punto di vista dell'Embodied Energy poiché, a meno di importanti ristrutturazioni, hanno già ammortizzato la quota energetica di costruzione.

	S/V	uf	if	n	H	Rcop	V	df	n lotti/ha	n apt/edifici	Sul/apt	
Isolata		0,9	0,29	2	2	7	1/7	700	47	9,3	1	200
Schiera		0,6	0,64	4,5	2	7	1/3	490	95	23,8	1	140
Linea		0,4	1,09	14,2	4	13	2/8	3900	204	4,1	10	120
Torre		0,2	1,60	44,8	9	28	1/6	12600	257	1,4	48	83

	ef	ep	et	dt	Af	At	Sul	Scop	ab	Ap	A _{strade}	
Isolata		140	75	210	45	700	1075	200	100	5	375	108
Schiera		55,0	50	100	100	220	420	140	70	4	200	59
Linea		22,0	27	50	210	1100	2450	1200	300	50	1350	441
Torre		13,9	25	40	300	2500	7000	4000	450	180	4500	1400

	n lotti 1000 ab	Atot 1000 ab - ha	V 1000 ab	Ap _{tot} 1000 ab - ha	A _{industrie} - ha	A _{servizi} - ha	A _{tot} - ha	
Isolata		200	21,5	140000	3488	2,5	1	25,0
Schiera		250	10,5	122500	4762	2,5	1	14,0
Linea		20	4,9	78000	5510	2,5	1	8,4
Torre		5,6	3,9	70000	6429	2,5	1	7,4

figura 4.5

La densità di una città, strettamente legata alla forma della città stessa, è diretta conseguenza del mix di tipologie edilizie previste dai Piani Regolatori; definita la densità si possono costruire una serie di scenari alternativi relativi ai diversi mix di tipologie edilizie, in modo da supportare con informazioni di carattere ambientale la redazione degli indici e del carico urbanistico di Piano in relazione alla biocapacità delle aree considerate ed alla sostenibilità delle azioni messe in campo.

La densità stessa insieme con gli indici che descrivono la forma e l'estensione del territorio, caratterizzata essenzialmente dall'orografia e dalle tipologie edilizie di insediamento, determina aliquote di IEU relativa anche ai Trasporti ed ai Rifiuti. In qualche modo la densità influisce anche sui beni di sussistenza ma in questa trattazione non si approfondiranno questi aspetti dell'IEU, rimandandoli a studi successivi.

4.2.1.2 Trasporti

La mobilità urbana è la componente che provoca la maggior parte degli impatti che costituiscono l'IEU dovuta ai trasporti, composta anche dagli spostamenti aerei, navali e ferroviari ed è direttamente legata alla densità urbana, al tenore di vita dell'area analizzata ed alle abitudini degli utenti. Se è vero che la città compatta riduce l'utilizzo della mobilità privata su gomma, in assoluto la voce più influente nell'IEU dovuta ai trasporti, è altrettanto giusto rilevare che il reddito è una variabile molto importante nella determinazione di questo contributo; a parità di densità infatti il livello di emissione pro-capite di CO₂ si riduce sensibilmente con la riduzione del reddito pro-capite poiché, a causa del costo troppo alto della mobilità privata motorizzata, gli utenti tendono a percorrere le stesse distanze a piedi, in bicicletta o comunque con mezzi collettivi.

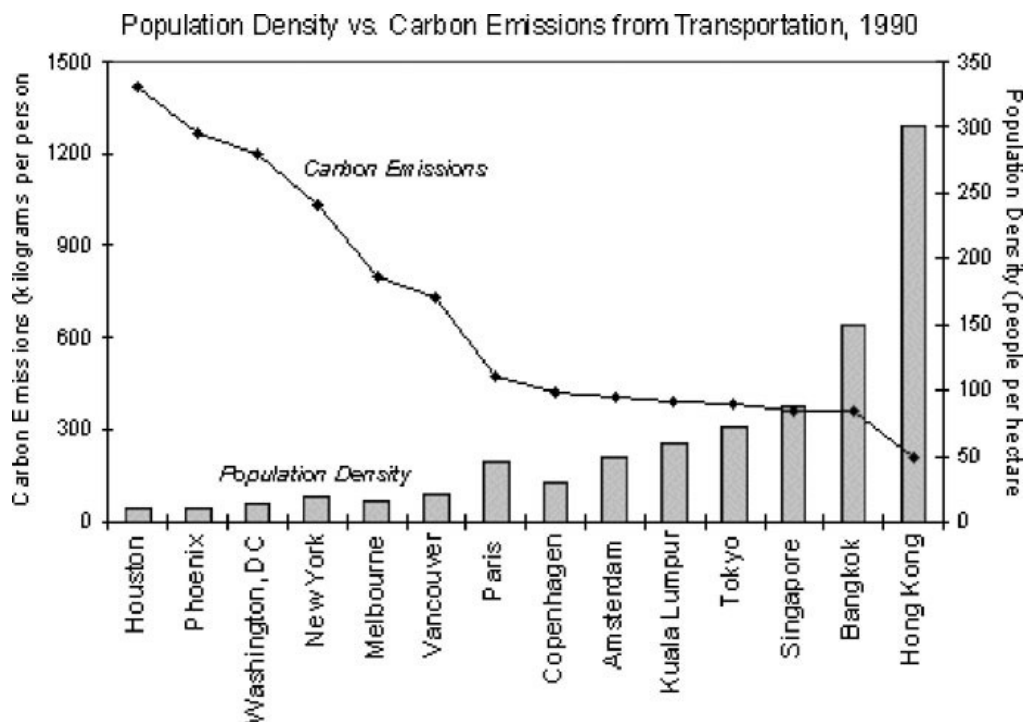


figura 4.6

Densità Urbana e Mobilità Sostenibile

La città compatta è favorita dal punto di vista del trasporto pubblico poiché le distanze da coprire con le reti metropolitane sono minori ed i costi di investimento delle infrastrutture si riducono all'aumentare della densità. Dal grafico riportato è comunque possibile individuare la relazione che intercorre tra la densità urbana e le emissioni dovute al trasporto in generale.

4.2.1.3 Rifiuti

Non è possibile, al momento, identificare relazioni rigorose tra l'IEU dovuta ai rifiuti e la forma urbana ed è per questo che in questa trattazione, analogamente a quanto fatto per i trasporti, ci si limita ad utilizzare la metodologia proposta da Wackernagel per l'IE globale. D'altra parte è vero che la città diffusa riduce l'Embodied Energy dovuta ai processi di raccolta del rifiuto differenziato, ma è anche vero che, grazie alla possibilità di smaltire localmente il compost nei terreni agricoli presenti, la città diffusa elimina completamente il problema creato dalla FORSU. Anche in questo caso è quindi auspicabile che sia analizzato più approfonditamente il metodo di calcolo dell'IEU provocata dai rifiuti in modo da identificare le relazioni precise esistenti tra spazio urbano e gestione dei rifiuti.

4.2.1.4 Lifestyle

Questa sezione racchiude tutte le categorie di esclusiva responsabilità del cittadino e per il quale le uniche fonti di dati disponibili sono le indagini statistiche condotte dagli organismi nazionali e locali. Beni di Consumo, di Sussistenza e Servizi sono appartenenti a questo gruppo di categorie per il quali non è possibile in alcun modo caratterizzare l'impronta ecologica in funzione della forma.

E' possibile però fare qualche osservazione sui beni di sussistenza.

La città diffusa, in quanto caratterizzata da una maggiore quantità di verde e spazio pubblico, stimola alla coltivazione diretta in ambito urbano e conseguentemente alimenta gli scambi da filiera corta poiché i centri di produzione dei prodotti tipici sono generalmente prossimi ai centri di consumo. Al contrario la città compatta obbliga la popolazione a scambiare beni di sussistenza con le aree limitrofe influenzando negativamente l'IEU relativa a questa categoria.

4.2.2 Matrice delle Responsabilità

Prima di procedere con l'individuazione delle possibili azioni da mettere in campo per mitigare l'effetto dell'IE delle città sono state analizzate le competenze degli impatti, individuando le categorie sulle quali la PA può intervenire con azioni di governo territoriale e quelle sulle quali agiscono esclusivamente i comportamenti dei cittadini:

	IMPRONTA ECOLOGICA URBANA - MATRICE DELLE RESPONSABILITA'					
	TIPOLOGIE DI TERRITORIO					
CATEGORIE DI CONSUMO	ENERGIA	AGRICOLTURA	PASCOLI	FORESTE	SUPERFICIE EDIFICATA	MARE
ALIMENTI	C	C	C			C
ABITAZIONI E INFRASTRUTTURE	PA+C			PA+C	PA+C	
TRASPORTI	PA+C				PA	
BENI DI CONSUMO	C	C	C	C		
SERVIZI	PA+C				PA+C	
RIFIUTI	PA+C			PA+C	PA+C	

Neutrale
Interazione

figura 4.7

Tabella 2: Matrice delle responsabilità

Come si evince dalla tabella riportata alcune categorie sono di diretta competenza della PA, altre sono di esclusiva influenza dei comportamenti di ciascun cittadino, altre sono influenzate da entrambi gli attori dello scenario. Per semplicità, nell'elaborazione del modello sono stati considerate delle variazioni % dell'IE relativa ad alimenti, beni di consumo e servizi. Per i contributi relativi ad azioni di piano o di governo della PA sono stati invece elaborati dei modelli per la costruzione della Matrice di Mitigazione che tengono conto delle specifiche conseguenze delle singole azioni individuate, attraverso opportuni algoritmi di calcolo che misurano la potenzialità di ogni intervento.

4.2.2.1 Pubblica Amministrazione

La PA è responsabile della maggior parte dei fenomeni antropici in quanto influenza più o meno direttamente i comportamenti dei cittadini.

Per quanto riguarda il calcolo dell'IE è necessario individuare quali sono le categorie di consumo di diretta competenza della PA con il fine di identificare le azioni di mitigazione dell'IEU che possono essere messe in campo dai decisori.

La PA è sicuramente responsabile nella categoria Abitazione e Infrastrutture, che riguarda

essenzialmente l'ambiente costruito, ed ha un ruolo decisamente determinante anche nella pianificazione della rete dei trasporti e nella gestione delle acque e dei rifiuti.

E' in questi tre settori che le PA attraverso le azioni di governo, possono indirizzare le città verso un futuro più sostenibile.

Dal punto di vista del trasporto, della distribuzione e del trattamento, la PA amministrazione è l'unica in grado di implementare sistemi di gestione efficiente del sistema idrico; gli aspetti di competenza della PA risultano peraltro di enorme importanza poiché spesso le reti di distribuzione idrica sono obsolete e poco mantenute e registrano perdite mediamente superiori al 50%. Più marginale è invece la responsabilità della PA nei servizi.

4.2.2.2 Cittadino e Lifestyle

Anche il cittadino è responsabile in ogni categoria, più o meno direttamente, ma anche per il cittadino è importante identificare le categorie di competenza specifica.

I cittadini determinano, più o meno consapevolmente, l'IEU generata dagli Alimenti in funzione della dieta che seguono così come servizi e beni di consumo che sono influenzati da reddito e stile di vita.

Allo stesso modo raggiungono, a parità di prestazione dell'involucro, diversi livelli di consumo energetico della casa.

Circa il 75% dell'acqua erogata raggiunge le abitazioni ed i negozi, il 14% principalmente le strutture turistico alberghiere e solo il rimanente 11% è destinato ad usi pubblici. Da questi dati emerge il fatto che il cittadino è il maggior responsabile dell'IE provocata dal lato del consumo .

Nella matrice di Mitigazione saranno illustrate alcune delle leve che la PA ha a disposizione ed identificate gli ulteriori approfondimenti da compiere per migliorare ed implementare lo strumento proposto.

4.2.3 Matrice di Mitigazione

Nella fase iniziale della ricerca ho concentrato l'attenzione proprio sul rapporto tra città, densità e sostenibilità e sull'identificazione di politiche, norme e modelli gestionali dedicati alla mitigazione degli effetti della crisi economico-energetico-ambientale in atto, ed a cercare modelli di sviluppo territoriale più solidi e meno dipendenti dai sistemi territoriali esterni, seguendo la linea tracciata dalle mie precedenti esperienze di approfondimento sul tema dello sviluppo sostenibile.

Per tutti i motivi illustrati nel paragrafo 4.2, il problema è stato affrontato prima di tutto dal punto di vista energetico, analizzando le possibilità di integrazione delle FER in ambito urbano attraverso validi strumenti di pianificazione. Le FER sono infatti caratterizzate per loro stessa natura da un impatto ambientale prossimo allo zero, sono gratuite dal punto di vista dell'approvvigionamento, sono disponibili direttamente sul territorio e ne mettono in evidenza il potenziale energetico che deriva dalla radiazione solare, dal vento, dalle sorgenti geotermiche, dalla reperibilità di biomassa, dalla disponibilità d'acqua, e soprattutto dalle tecnologie che permettono uno sfruttamento economicamente competitivo di queste risorse. Ed inoltre sono perfettamente compatibili con la

città ed il modello di generazione distribuita, portatore di valori democratici e di equità.

E' per questo motivo che la ricerca si è da subito focalizzata sull'opportunità offerta dalle FER e dall'Efficienza Energetica di migliorare la sostenibilità di un sistema territoriale che, attraverso l'utilizzo diffuso e razionale di queste tecnologie, tenda verso l'autosufficienza. Più precisamente mi sono concentrato sull'individuazione delle Best Practice e Best Technologies disponibili (BPA, BTA) per definire criteri e metodi per produrre piani urbanistici di livello comunale e sub-comunale capaci di minimizzare l'impatto socio-ambientale in ambito urbano.

I casi studio analizzati sono stati molteplici, dal BedZed di Londra al Vauban di Friburgo, da Nieuwland ad H2pia, da Hammarby a Malmo, da Parigi (velib) a Tel Aviv (digestione anaerobica urbana), ma il risultato è stato però, da un certo punto di vista, poco incoraggiante. Non esiste, e non è possibile produrre, una procedura che individui la soluzione ottima per ciascuno dei settori analizzati, perché ognuna delle BTA (Best Technologies Available) disponibili nel campo della sostenibilità ha diversi impatti in diversi contesti, in relazione alla forma, alla collocazione geografica, al livello di sviluppo economico ed alla densità urbana. Molte metodologie di calcolo trascurano o non inseriscono adeguatamente il patrimonio ecologico di un sistema territoriale. La *Biocapacità* è un elemento essenziale dell'Impronta Ecologica, ed è proprio per questo che questo strumento si presta particolarmente bene a valutare gli effetti di mitigazione delle fonti rinnovabili.

In questa sezione sono specificate le procedure utilizzate per la costruzione della Matrice di Mitigazione, che identifica in primo luogo le interazioni esistenti tra le delle categorie di consumo e le tipologie di terreno, che coincidono essenzialmente con quelle identificate nella matrice degli impatti.

	IMPRONTA ECOLOGICA URBANA - MATRICE DI MITIGAZIONE					
	TIPOLOGIE DI TERRITORIO					
CATEGORIE DI CONSUMO	ENERGIA	AGRICOLTURA	PASCOLI	FORESTE	SUPERFICIE EDIFICATA	MARE
ALIMENTI						
ABITAZIONI E INFRASTRUTTURE						
TRASPORTI						
BENI DI CONSUMO						
SERVIZI						
RIFIUTI						

Neutrale

Mitigazione

Figura 4.8 Matrice di Mitigazione

In alcuni casi è possibile ottenere risultati sorprendenti che riflettono un potenziale di mitigazione sensibilmente superiore all'impatto generato. Questo significa che un intervento di recupero urbano a bassa densità ha un potenziale di mitigazione dell'IE importante grazie alla disponibilità di territorio pro-capite ed al potenziale produttivo dell FER, tanto da poter addirittura assorbire parte dell'IE generata dei quartieri limitrofi. Questo risultato evidenzia il fatto che è possibile adottare scelte politiche di sostenibilità ambientale tenendo finalmente in giusto conto gran parte dei costi esterni legati ad attività non ecocompatibili, senza comprometterne la fattibilità

economica soprattutto perché nuovi insediamenti progettati tenendo in considerazione il metodo dell'Impronta Ecologica avranno un valore che andrà oltre quello semplicemente immobiliare. Infine, sebbene la maggiore responsabilità nel ciclo dei rifiuti sia della PA, i cittadini possono collaborare attivamente al recupero e riciclo del materiale attraverso un'attenta raccolta differenziata.

4.2.3.1 Abitazioni ed Infrastrutture

La Matrice di Mitigazione è costruita sulla base della Matrice degli Impatti, ed è arricchita dagli "Indici Geografici", un set di indici che misurano Irraggiamento, ventosità e piovosità. Queste caratteristiche costituiscono i dati di partenza del potenziale legato alle FER nell'ambito della categoria Abitazione e Infrastrutture dell'IEU Mitigata. Gli indici di qualità e di forma sono stati scelti tra quelli più utili al calcolo del potenziale di Mitigazione.

A monte dei tre set di indici è fondamentale costruire una serie di database che permettano di scegliere le azioni di governo sostenibile tra tutte le BTA valutandole, attraverso l'ABC, anche dal punto di vista economico, oltre che naturalmente da quello energetico ambientale.

I database a servizio degli Indici di qualità dovranno essere costituiti essenzialmente da LCA condotti sulle diverse tipologie di intervento e sul contenuto energetico dei materiali da costruzione (1). Quelli a servizio degli Indici di forma dovranno identificare le migliori pratiche e le migliori tecnologie che possono influenzare la forma urbana, valutandoli anche con strumenti come l'ABC.

I database a servizio degli Indici Geografici dovranno invece contenere i dati climatici ed i parametri tecnologici delle tecnologie utili a mitigare l'impronta ecologica.

A completamento della Matrice di Mitigazione di Abitazione e Infrastrutture c'è il database con gli algoritmi necessari a convertire l'energia proveniente da fonte solare ed eolica in energia, attraverso le BTA, ed identificare il potenziale risparmio idrico relativo a perdite di rete, pavimentazioni porose, la fitodepurazione locale, recupero delle acque piovane dal lato PA ed efficienza dell'impianto idrico domestico.

L'equazione seguente sintetizza il calcolo dell'IEU relativa ad Abitazione ed Infrastrutture

$$IEY_{Abmg} = - EP + PV + Eol - H_2O$$

La Matrice di Mitigazione implementata per le Abitazioni e Infrastrutture può essere facilmente costruita, attraverso opportuni strumenti di settore, per la gestione dei Rifiuti ed il trasporto sostenibile.

(1)

A questo proposito è utile osservare come è possibile implementare una procedura che analizzi i costi ed i benefici energetici ed economici dello spessore degli isolanti, in funzione del materiale analizzato, in questo modo da un lato è possibile individuare il reale "ammortamento ecologico" di ogni materiale, dall'altro è possibile trovare il valore soglia oltre il quale un aumento di spessore del materiale isolante comporterebbe un prolungamento dell'ammortamento ecologico stesso.

Se analizziamo l'effetto di mitigazione ottenuto dalle differenti tipologie edilizie analizzate – edifici

isolati, a schiera, in linea e a torre – si evince chiaramente che la tipologia degli edifici in linea rappresenta l’ottimo per la realizzazione di un complesso edilizio a impatto zero.

Questa tipologia edilizia, o un mix di edifici che garantisca la densità media relativa ad un edificio in linea di 4 piani, è quella che garantisce il giusto compromesso tra efficienza energetica dell’involucro, a parità di materiali e tecnologie costruttive utilizzate, e potenziale produttivo energetico da fonte fotovoltaica ed eolica (2).

Anche sotto il punto di vista dei trasporti il livello di densità relativo alla tipologia edilizia indicata garantisce un punto di equilibrio nel mix di spostamenti effettuato con mobilità pubblica e privata.

4.2.3.2 Trasporti

Anche i *Trasporti*, contrariamente alla fase di INPUT, possono essere specificati in base alle politiche o alle tecnologie disponibili. L’implementazione di un algoritmo specifico per il trasporto urbano è molto complesso ed è quindi necessario che sia oggetto di uno studio dedicato. Nell’analisi dovrebbero essere trattate le differenti tipologie di trasporto alternativo – Bike e Car Sharing, Car Pooling, ZTL, Nuove linee Trasporto Pubblico Locale – per calcolarne l’impronta specifica ed ottenere indicazioni sulle leve più efficaci da azionare per ridurre l’IE legata ai trasporti, seconda per intensità solo alla Superficie Edificata.

4.2.3.3 Rifiuti

Allo stesso modo sono stati trattati i *Rifiuti*, per i quali sono state già calcolate le impronte specifiche e l’energia recuperabile con la raccolta differenziata dagli stessi autori dell’Impronta Ecologica, che non sono intervenuti invece sulla definizione del contributo di mitigazione che può essere fornito da differenti tecnologie di trattamento dei rifiuti. Il problema è stato affrontato tenendo in primaria considerazione il fatto che ogni tecnologia è adatta a trattare solo determinati tipi di rifiuto; nel calcolo dell’impronta specifica delle diverse tecnologie sono state così considerate esclusivamente le masse in gioco. La tabella riporta le tecnologie per le quali è stata calcolata in questa ricerca l’Impronta Ecologica specifica e quelle che devono essere definite. L’analisi effettuata rappresenta comunque una prima approssimazione dei risultati. Ancora una volta, per avere a disposizione dati realmente affidabili, è auspicabile la costruzione di un database che permetta di individuare costi e benefici di ogni tecnologia di trattamento del rifiuto in relazione alla percentuale di energia recuperata, alle emissioni prodotte, alla superficie di suolo occupato e soprattutto alla tipologia di rifiuto da trattare.

*Tabella 6: Tecnologie per il trattamento dei rifiuti
FORSU*

figura 4.9

4.2.3.4 Lifestyle

Specifiche responsabilità beni di sussistenza e di consumo, oltre che servizi

Responsabilità per la gestione della casa

Intervengono in trasporti e rifiuti

Consumare prodotti di filiera corta non produce solo risparmi ecologici in termini di emissioni prodotte per il trasporto di beni alimentari, ma valorizza anche il cibo che si produce in modo ecologicamente efficiente, quello tipico locale. E' probabile infatti, che la mozzarella prodotta in Campania, oltre ad essere di migliore qualità per le materie prime utilizzate, abbia un processo produttivo molto più efficiente di quella prodotta altrove grazie al *know-how* accumulato negli anni dai caseifici. La stessa mozzarella, prodotta altrove da personale non specializzato, sarà caratterizzata da maggiori INPUT energetici sia durante il processo di lavorazione, che di produzione biologica, intesa come la fase in cui viene alimentato la bufala che produce il latte necessario per la mozzarella. Questo esempio vale per tutti i prodotti di filiera corta e mette in luce quanto sia importante anche il comportamento virtuoso dei cittadini che scelgono prodotti locali a discapito della grande distribuzione.

4.2.4 Biocapacità Urbana – Tipologie di Terreni

Il punto di partenza per restituire le informazioni caratteristiche dei sistemi antropici e biologici locale è l'individuazione della posizione di tutti gli edifici (esclusi quelli delle zone urbane), le masse d'acqua, le quote altimetriche, le curve di livello, le strade, le linee ferroviarie, i confini amministrativi e le zone boschive, i pascoli ed i terreni agricoli. Oltre alle normali carte, l'I.G.M. rende oggi disponibili, per molte aree, il foto-rilevamento aereo alla stessa scala. Queste foto aeree sono utili sia per raccogliere i dati che per esporli.

L'area di studio deve essere poi inserita nel contesto locale. Inoltre, spesso è necessario inserire l'area in un contesto locale, come per esempio una provincia o una qualsiasi altra giurisdizione amministrativa, e poi in un contesto regionale più grande, come due regioni o lo stato, in modo da determinare le aree di compensazione dei deficit biologici, sia in termini di surplus ecologico da "donare" che da ricevere. Come abbiamo visto spesso accade che una determinata regione è deficitaria per determinate tipologie di terreno e virtuosa per altre; ne consegue che l'analisi bioproduttiva di un'area regionale più vasta di quella su cui insiste il sistema urbano analizzato permette una maggiore conoscenza degli scambi di flussi delle aree esaminate e quindi maggiore consapevolezza ed efficacia nelle decisioni necessarie al governo territoriale sostenibile.

Gli elementi particolarmente significativi nell'analisi della biocapacità di un territorio sono:

Il clima regionale

Il clima è l'insieme delle condizioni meteorologiche caratteristiche di un'area in un dato periodo di tempo. Il clima regionale, o macroclima, costituisce il quadro di riferimento più ampio, le condizioni e i tipi meteorologici di un'area vasta. Il macroclima è misurato a circa 2 metri dal livello del suolo, ed è influenzato da elementi fisici quali le montagne, le correnti oceaniche, i venti dominanti e la latitudine. Il macroclima, a sua volta, influisce sulla formazione della regione geomorfologica. Come è stato osservato da Pielke e Avissar (1990), l'atmosfera reagisce al

paesaggio, e l'ecologia di quel paesaggio si modifica in risposta alle alterazioni atmosferiche. Le trasformazioni nell'uso del territorio provocano grandi alterazioni nel clima sia regionale che locale (Pielke e Avissar, 1990).

Le informazioni macroclimatiche che dovrebbero essere raccolte, sono:

- La presenza di masse d'acqua capaci di mitigare il clima;
- La presenza di catene montuose capaci di bloccare, sia in entrata che in uscita, sia i flussi di aria calda che di aria fredda;
- La gamma delle temperature medie, minime e massime di tutto l'anno e le caratteristiche stagionali.
- L'andamento delle precipitazioni.
- Le direzione dei venti e i loro periodo d'influenza.
- comportamenti climatici particolari

L'idrologia

Nel sedicesimo secolo Bernard Palissy fu il primo studioso a spiegare che le sorgenti sono originate e alimentate dalla sola pioggia: l'acqua marina evapora e si condensa per formare la pioggia, che cade, penetra nel suolo e emerge più tardi in forma di fonti e di fiumi, che restituiscono l'acqua al mare. Questo è il ciclo idrologico, che esprime l'equilibrio dell'acqua nelle sue varie forme di diffusione e dispersione nell'aria, nella terra e nel mare (Morisawa, 1968, p. 12).

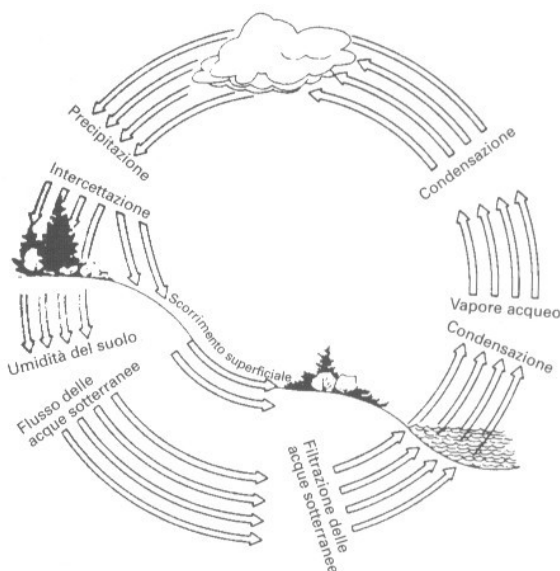


figura 4.10

I suoli

I suoli rivestono un ruolo eccezionale nella litosfera e nell'atmosfera. Essi costituiscono una zona di transizione, legata sia all'ambiente biotico che abiotico. Il suolo è una massa naturale tridimensionale sulla superficie terrestre, in grado di ospitare la vegetazione. Le sue proprietà derivano dall'interazione tra il clima e la materia vivente sul materiale primario, condizionata dalle caratteristiche orografiche attraverso un certo periodo di tempo.

I risultati del rilevamento devono comprendere le informazioni necessarie per correlare e determinare l'adattabilità dei suoli alle varie coltivazioni, al pascolo, alla vegetazione; il loro comportamento e la *produttività* a seconda dei sistemi di gestione adottati; e i *rendimenti* delle colture più adatte trattate con specifiche tecniche di gestione.

II microclima

Le caratteristiche meteorologiche sono soggette a cambiamenti sia al variare della quota che per brevi distanze lungo la superficie terrestre. I cambiamenti modesti sono causati da cambi di pendenza e di orientamento della superficie del suolo, dal tipo e dall'umidità del suolo, dal tipo e dall'altezza della vegetazione. **Microclima** è il termine generico per definire tutti i diversi climi rintracciabili all'interno di una piccola area. Alcuni elementi importanti da valutare, per quanto riguarda il microclima, sono:

la ventilazione;

l'irradiazione solare;

i cambiamenti di vegetazione.

La ventilazione è la circolazione di aria fresca e dipende, in gran parte, dalla configurazione della forma del territorio e dalla direzione del vento. Il calcolo della ventilazione è importante per determinare il clima locale; inoltre, la pressione del vento e la formazione di vortici dipendono soprattutto dal tipo di rilievi che compongono la forma del territorio. La ventilazione è maggiore in quelle zone dove l'andamento del suolo è allineato con il vento prevalente. Rudolf Geiger, uno scienziato tedesco che ha studiato gli effetti della topografia sul microclima, ha sviluppato la formula riportata nella in figura, per determinare i valori relativi di ventilazione. La formula mette in relazione la direzione del vento con la forma del suolo. La d della formula è determinata dalla direzione dei venti regionali stagionali, di conseguenza possono essere necessari calcoli di ventilazione diversi per le varie stagioni.

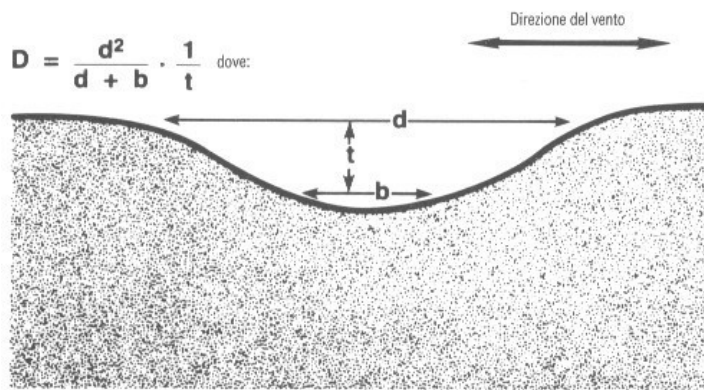


figura 4.11

In genere più grande e pronunciato è il rilievo, più grande è la pressione del vento sui pendii rivolti al vento e perpendicolari a esso (sopravento), e più grande è la formazione di vortici sul lato sottovento. Questi fattori influenzano la temperatura e l'umidità, e quindi hanno un influsso notevole sul microclima locale.

L'irradiazione solare dipende dalla inclinazione e dalla direzione del pendio. Satterlund e Means (1979) hanno osservato che l'irradiazione solare è la variabile prima nei processi di scambio energetico che determinano la distribuzione, la composizione e la produttività dell'ecosistema. Le radiazioni, inoltre, sciolgono la neve e alimentano il ciclo idrologico, influenzando in maniera significativa il rendimento dei suoli agricoli.

La vegetazione influenza il microclima e, a sua volta, ne è influenzata in molti modi. La ventilazione, la nebbia, il gelo e le radiazioni solari, sono tutti modificati da cambiamenti nella vegetazione. La figura seguente illustra alcuni dei modi in cui la vegetazione influenza il microclima.

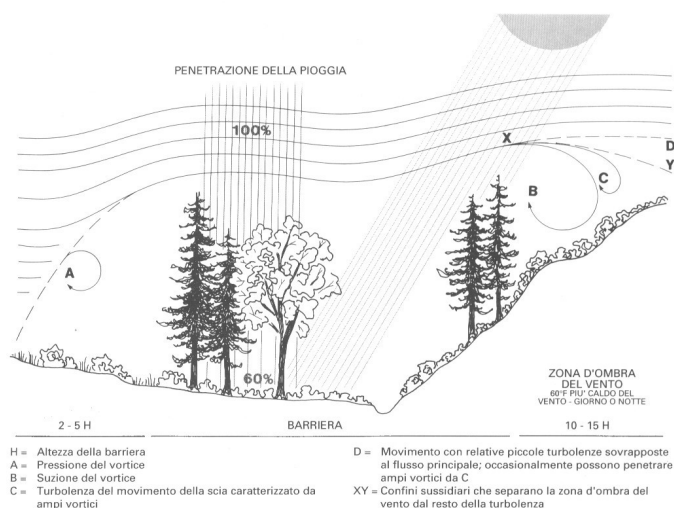


figura 4.12

L'uso attuale del territorio e i suoi utenti

L'espressione "uso attuale del territorio" fa riferimento alla sistemazione fisica dello spazio antropizzato. Dalle zone deserte dell'Alaska ai vicoli di Taiwan, quasi tutto il territorio del pianeta è usato dall'uomo. L'ecologia umana, il reticolo vivente di un'area, è molto più complesso del modo in cui il territorio viene usato. Comunque il territorio e l'utilizzazione delle risorse sono una componente significativa dell'ecologia umana. L'impatto umano sull'ambiente è forte; perciò, durante la fase di raccolta di dati e di analisi di un'area, è importante capire come la popolazione usa il territorio e, inoltre, distinguere l'uso del territorio dagli utenti dello stesso. E' importante, ai fini del calcolo della biocapacità, identificare le tecniche di coltivazione ed allevamento attraverso l'LCA in modo da caratterizzare localmente i coefficienti di conversione YF ed EF.

Ancora una volta il database informativo risulta essenziale in un ottica di gestione del territorio attraverso il metodo dell'IEU; questo database, oltre a contenere le informazioni descrittive del territorio appena elencate, potrà essere utilizzato anche per attingere ai dati relativi allo stato di avanzamento tecnologico e produttivo delle tecniche locali di sfruttamento e gestione della biosfera.

4.2.5 Densità, Impronta Ecologica Urbana e Biocapacità

La densità è da sempre una questione centrale in ogni aspetto della vita urbana, tra le poche in architettura dove un parametro quantitativo, misurabile, ha così vaste conseguenze qualitative e implicazioni nei più diversi aspetti (economici, funzionali, ambientali, sociali, spaziali...) dell'organizzazione complessa di città e territori. Come tale il tema è stato ampiamente e da lungo tempo dibattuto e risulta tuttora controverso.

Di fronte alle pazzesche condizioni di affollamento nelle città della rivoluzione industriale gli approcci più avanzati si sono inizialmente orientati verso modelli dispersivi, variamente testimoniati dai movimenti per la città giardino, dai disurbanisti russi, dalla politica degli standard figlia dell'approccio "razionale" dei CIAM e da studi di analogo valore culturale.

Tuttavia, la diffusione combinata di un maggiore potere d'acquisto, della disponibilità di una serie di prodotti (soprattutto quelli legati alla mobilità individuale) e di modelli di consumo strettamente connessi con il sistema economico dominante, ha ben presto intaccato la coesione dei tessuti urbani oltre le più fantasiose previsioni, producendo in forme sempre più diffuse e critiche dal punto di vista funzionale e sociale quei fenomeni di dissoluzione generalmente conosciuti come sprawl urbano, che hanno determinato la formazione delle città metropolitane sconfinare che oggi conosciamo.

D'altra parte Manhattan, vera e propria icona della modernità, si afferma come la risposta vivente alle problematiche dello sprawl urbano. La parola chiave diventa qui "congestione", una sorta di iperdensità raggiunta attraverso edifici resi "mutanti" dall'impatto delle nuove tecnologie: ascensori, strutture in acciaio e aria condizionata rendono possibili insediamenti edilizi caratterizzati da incredibili concentrazioni di funzioni, abitanti, lavoratori e utenti. A questo punto anche il tema delle funzioni diventa centrale nella pianificazione urbana sostenibile, proprio perché ogni centro urbano, diffuso o compatto, deve essere in grado di soddisfare tutti i bisogni predominanti del cittadino nella minor distanza possibile. Ed è su questo terreno che Kevin Lynch, nel suo "Progettare la città. La qualità della forma" si muove, affrontando temi come le dimensioni prestazionali della città, l'accessibilità, la densità e la dimensione urbana.

Dall'analisi di alcuni studi condotti dagli urbanisti contemporanei è stato possibile individuare punti di forza e di debolezza dei tre modelli insediativi classici, la città compatta, quella diffusa e quella policentrica.

La città compatta, icona moderna del risparmio energetico, sebbene al raggiungimento di una certa "massa critica" la mobilità verticale tende a sostituire quella orizzontale e il mezzo privato perda la sua necessità, è caratterizzata da **un'impronta ecologica** sensibilmente superiore alla **superficie occupata**, probabilmente influenzata da una scarsa capacità produttiva locale di beni di sussistenza e beni di consumo. Un'area però così densamente urbanizzata non è in grado di provvedere autonomamente ai propri fabbisogni sostanziali che è costretta così a prelevare dal territorio circostante, che si trova nella scomoda e conflittuale condizione di dover soddisfare fabbisogni non propri.

Allo stesso modo **la città diffusa**, decisamente penalizzata dagli spostamenti urbani privati, è invece in grado di produrre al suo interno sia l'energia direttamente necessaria ai cittadini che i beni di prima necessità. Un'architettura ecologica deve quindi rendere compatibile il modello dispersivo della casa unifamiliare con l'esigenza di mobilità: questo problema è risolvibile apparentemente solo creando sistemi policentrici nei quali i cittadini abbiano a disposizione la maggior parte delle funzioni urbane. Oggi però nuove tecnologie si stanno affacciando sullo scenario mondiale, tecnologie che da un lato permetteranno di accorciare ridurre o annullare le distanze, grazie alla banda larga ed ai suoi efficaci sistemi di comunicazione e condivisione delle informazioni, e dall'altro di ridurre gli spostamenti di merci ed energia, rendendo più conveniente lo sviluppo di modelli territoriali locali che, grazie alla densità ridotta, sono in grado di autoprodurre sia i beni di sussistenza, avendo terreno agricolo a disposizione – biocapacità – che l'energia, grazie all'aiuto delle FER ed alla loro possibilità di integrazione architettonica.

La città policentrica, sperimentata durante gli anni '50 e '60 in Inghilterra e Francia, e divenute naturali realtà del tessuto urbano delle Fiandre e della corona olandese, si propone come alternativa ai due eccessi prodotti dalla civiltà industriale, offrendo sia una soluzione ai problemi di suburbanizzazione che investono le economie avanzate, che una cura preventiva per quei paesi che si affacciano all'economia del benessere e che rappresentano, con il proprio bagaglio demografico di circa tre miliardi di persone, il più grande pericolo per la sostenibilità ambientale del pianeta. Questo design urbano alternativo che contrappone la città diffusa, energigena ed autosufficiente ma relativamente isolata, alla città compatta ed efficiente (ma non autosufficiente), permette infatti di avere un potenziale produttivo superiore che da un lato rende fisicamente autosufficiente un sistema locale policentrico a bassa densità, dall'altro riduce o addirittura annulla l'impronta ecologica legata all'energia, che rappresenta ca. il 50% dell'IEU.

In definitiva, le qualità intrinseche dei diversi modelli insediativi possono essere sintetizzati così:

Il valore ecologico della città densa è senza dubbio l'efficienza: l'efficienza degli edifici, l'efficienza dei trasporti e quella delle reti in generale.

Il valore ecologico della città diffusa è invece, l'autosufficienza in termini energetici ed alimentari oltre che ecologici e quindi, di conseguenza, economici.

Il valore ecologico della città policentrica è il giusto mix di efficienza ed autosufficienza, la chiusura del metabolismo urbano all'interno del territorio stesso e la riduzione del trasporto di beni.

4.3 Integrazione del modello dell'Impronta Ecologica Urbana

Come abbiamo visto l'IEU deve essere necessariamente integrata con il LCA per soddisfare le necessità di specificazione e caratterizzazione della metodologia di calcolo. Il LCA, alternativamente o congiuntamente all'Analisi Energetica, è infatti lo strumento ideale di supporto della metodologia IEU.

Lo strumento proposto si avvale di tre matrici essenziali – Impatti, Responsabilità, Mitigazione – che per essere caratterizzate al territorio hanno bisogno di uno strumento che analizzi il ciclo di vita di processi e prodotti. L'LCA risulta infatti di fondamentale importanza per la determinazione di tutte le Embodied Energy che intervengono nella modellazione, così come descritto nel paragrafo 4.1; allo stesso modo può essere utile nella determinazione del contenuto energetico dei cibi o del bene di consumo.

4.3.1 Approccio all' integrazione dei costi in LCA: LIFE CYCLE COSTING, ANALISI INPUT-OUTPUT

Il tema delle valutazioni di sostenibilità è da tempo oggetto di dibattito scientifico: esso infatti sfugge per sua natura ad ogni semplificazione, con controverse interpretazioni sul piano sia sociale che scientifico. Le complessità del tema sono a diversi livelli: diversificate tipologie di problemi da affrontare (prodotto, tecnologie, infrastrutture, indirizzo strategico), i portatori d'interesse (consumatori, pubblica amministrazione, R&D, NGOs) e il sistema d'interrelazioni, elementi cui si

deve aggiungere una componente di soggettività, sempre presente quando entrano in campo anche scelte di valore, e infine l'incertezza, che non può essere eliminata ma deve essere controllata.

La standardizzazione della LCA nella serie ISO 14040 ha contribuito alla sua rapida crescita, ma al tempo stesso ha comportato alcune semplificazioni e limitazioni, evidenti nel momento in cui si devono esaminare sistemi di maggiore complessità o valutare le conseguenze nel lungo periodo di scelte tecnologiche e programmatiche.

Sul piano scientifico, negli ultimi anni sono stati numerosi gli approcci proposti per superare queste limitazioni, con due principali finalità: da un lato, migliorare l'attendibilità e praticabilità dell'LCA, così da renderla uno strumento più robusto e favorirne una maggiore diffusione; dall'altro, approfondire ed ampliare la metodologia verso una Life Cycle Sustainability Analysis (LCSA), un quadro di riferimento per valutazioni più coerenti con il concetto di sostenibilità, in cui si possano tenere in considerazione (quantitativamente e qualitativamente) più meccanismi e relazioni e non solamente quelle di natura tecnologica, più aspetti e non solamente quelli ambientali. L'estensione della LCA nella direzione del Life Cycle Costing (LCC) attraverso l'integrazione con l'ABC prevede l'introduzione di considerazioni economiche complementari, riferite ai costi di produzione. Nonostante esistano diverse applicazioni congiunte dei due strumenti in letteratura, appare esclusa la possibilità di una loro effettiva integrazione nell'ambito della stessa struttura formale. Tuttavia, una più approfondita discussione degli aspetti algebrici dell'LCC potrebbe spiegare il limitato successo che esso riscuote presso gli operatori economici anche a causa della resistenza degli stakeholder a considerare effettivamente la esternalità nel computo economico.

Alcune problematiche di coerenza tra analisi dei costi e analisi ambientale possono essere affrontate definendo una procedura di calcolo per l'LCC coerente con quella dell'LCA – essenzialmente basata sull'analisi input-output, che è alla base dell'EU.

L'“Environmental” Life Cycle Costing (LCC) ha assunto nell'arco di un decennio un ruolo preminente e ampiamente riconosciuto come strumento di sostenibilità, pur avendo origini assai più lontane e del tutto estranee alla gestione ambientale d'impresa. L'istituzione di un gruppo di lavoro dedicato al LCC in seno alla Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) conferma l'importanza di questo strumento tra quelli elaborati dalla contabilità ambientale d'impresa (EMA).

Restano tuttavia ancora aperte alla discussione alcune problematiche di carattere metodologico.

In particolare, vi è un gap tra l'interesse che il LCC riscuote presso gli esperti di LCA e la sua effettiva conoscenza e implementazione presso gli operatori economici. Un risultato presumibilmente dovuto all'ipotesi, sinora prevalente, che i dati necessari a un'analisi economica complementare a quella ambientale possano essere agevolmente reperiti dai sistemi informativi aziendali, che si presuppongono già in essere presso gli attori coinvolti. Inoltre, sembra esservi una scarsa visibilità dei risultati concretamente ottenibili mediante l'impiego di questo tipo di analisi ai fini del controllo dei costi di produzione nell'ambito della gestione aziendale.

A fronte di tali problematiche specifiche, si sosterrà la necessità di una più approfondita discussione degli aspetti algebrici del LCC. Si giungerà alla conclusione che un'eventuale struttura di calcolo dell'LCC basata sui principi dell'analisi input-output sarebbe coerente con quella dell'LCA,

trasparente da un punto di vista procedurale, agevolmente implementabile mediante i comuni fogli di calcolo elettronici e condurrebbe a risultati chiaramente interpretabili da un punto di vista gestionale aziendale.

4.3.2 Casi studio di applicazione dal LCA alle attività antropiche urbane

La metodologia, come riportato nel paragrafo 4.2, può essere applicata anche alla Matrice di Mitigazione, un particolare per la determinazione degli interventi che possano essere eseguiti sull'ambiente costruito, in termine di risparmio e produzione energetica. Con l'utilizzo del LCCA – Life Cycle Cost Assessment è poi possibile analizzare congiuntamente anche il rapporto costi-benefici in termini economici.

Lo strumento è altrettanto utile nella determinazione delle alternative disponibili per la gestione integrata del ciclo delle acque, dei rifiuti e dei trasporti. Molti tra i prodotti e processi disponibili sul mercato sono stati analizzati dalla Rete Italiana LCA, coordinata dall'ENEA sotto la spinta della crescente necessità di valutazione ambientale.

Questo gruppo di lavoro, specializzato nella determinazione del ciclo di vita di processi e prodotti, sta implementando il tanto auspicato database di LCA che, talvolta, è stato applicato integrando nella procedura di calcolo anche l'analisi economica.

Nei paragrafi successivi sono riportate alcune tra le LCA più significative condotte da questo gruppo di lavoro, che comprendono processi e prodotti direttamente collegabili alle migliori pratiche e migliori tecnologie a disposizione del Governo sostenibile del territorio.

4.3.2.1 La Sostenibilità in edilizia

Nel settore delle costruzioni, dopo l'affermazione ormai diffusa e pervasiva del tema dell'efficienza e risparmio energetico, l'attenzione si sta ora spostando verso il tema della sostenibilità ambientale, come necessario allargamento degli obiettivi verso una efficace riduzione della pressione antropica sull'ambiente e percorso di qualificazione del costruito.

La valutazione LCA è ancora ai margini, nonostante sia forse l'unico orizzonte possibile per una valutazione ambientale oggettiva e condivisa. La motivazione è da ricercarsi nella difficoltà di accesso ai dati ambientali (manca a tutt'oggi una banca dati italiana, anche se è in corso di elaborazione da parte dell'ITC-CNR una “banca dati nazionale LCA di materiali e prodotti per l'edilizia”), nella scarsità di dati primari disponibili (veicolati per esempio dalle etichette di prodotto come l'EPD), nella complicatezza del metodo (se utilizzato in valutazioni approfondite), nella rarità di operatori competenti (soprattutto nelle sedi decisionali). Anche nei casi in cui si parla di approccio al “ciclo di vita”, normalmente si intende l'adozione “filosofica” del termine (Life Cycle Thinking), volta a introdurre uno sguardo allargato a tutte le fasi del processo, ma senza mai arrivare a una valutazione di sintesi che metta a sistema il contributo di impatto delle diverse fasi.

4.3.2.2 La valutazione energetico ambientale degli interventi sull'involucro edilizio

Per ottenere uno studio rigoroso è stato necessario effettuare ipotesi di soluzioni differenti per la realizzazione di componenti edilizi, il recupero ipotizzato consiste nell'isolamento termico delle pareti verticali e della copertura della messa in opera di impianti esistenti per la climatizzazione estiva, invernale, considerare il differente tempo di vita dell'involucro dei singoli materiali, in tutte le fasi che compongono i due cicli di vita, dall'estrazione delle materie prime alla produzione, all'utilizzo ed infine allo smaltimento o al riciclo dei materiali, rilevando tutti gli input (materia ed energia assorbita) e gli output (emissioni e rifiuti) prodotti nel corso dei diversi processi di trasformazione e d'uso e infine effettuare una valutazione energetica del sistema edificio prima e dopo le due distinte ipotesi di recupero secondo la normativa vigente.

4.3.2.3 LCA applicata alle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia

L'impiego delle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia è considerato nevralgico per affrontare le emergenze ambientali innescate dai cambiamenti climatici indotti dal massiccio impiego di fonti fossili di energia. La valutazione delle prestazioni delle tecnologie e la definizione di opportune strategie energetiche future deve fondarsi su adeguate informazioni scientifiche sul ciclo di vita degli impianti. Gli studi effettuati dall'ENEA analizzano alcune delle peculiarità degli studi di LCA applicati alle tecnologie rinnovabili e descrivono i risultati di alcuni casi studio sviluppati dagli autori o tratti dalla letteratura scientifica.

L'approvvigionamento energetico è una delle esigenze più stringenti, sia dei paesi industrializzati che di quelli in via di sviluppo. A fronte di una crescente domanda di energia i sistemi energetici attuali sono in gran parte basati sull'uso dei combustibili fossili. Le fonti fossili sembrano però destinate ad esaurirsi in tempi relativamente brevi, rendendo necessaria una rapida transizione dai sistemi energetici attuali ai futuri, nei quali l'uso di tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia dovrà rivestire un ruolo estremamente significativo. Inoltre l'uso dei combustibili fossili è responsabile di elevati impatti ambientali, in particolare in termini di emissioni di biossido di carbonio, il principale responsabile dei mutamenti climatici in atto.

Gli orientamenti dell'UE relativi alla Politica Integrata di Prodotto (IPP) ed alle Strategie Europee per la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, hanno evidenziato che :

“La sicurezza dell'approvvigionamento richiede varie iniziative politiche che consentano di diversificare le fonti e le tecnologie, senza ignorare il contesto geopolitico e le sue implicazioni”;

“È necessario un sostegno alla ricerca e allo sviluppo, orientato all'innovazione e al cambiamento, sfruttando il potenziale di tutte le tecnologie energetiche”;

“Lo sviluppo delle energie nuove e rinnovabili, compresi i biocarburanti, è la chiave di volta del

cambiamento”;

“Le tecnologie sull’energia rinnovabile, come molte altre tecnologie innovative, risentono di un’iniziale mancanza di fiducia da parte degli investitori, dei governi e degli utilizzatori, dovuta a scarsa dimestichezza con il loro potenziale tecnico ed economico e ad una resistenza generale al cambiamento e a nuove idee”.

Le tecnologie per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia (o RES – Renewable Energy Sources) non sono però da considerare ad “emissioni zero”. È necessario includere in queste valutazioni i bilanci ambientali di fasi quali: la manifattura, i trasporti, l’installazione e manutenzione, e lo smaltimento finale degli impianti. Come individuato dall’UE nell’ambito delle sue comunicazioni per la IPP, l’approccio del “life cycle thinking” è da considerarsi come prioritario per valutare le prestazioni globali di prodotti e tecnologie, per valutare gli impatti ambientali significativi, confrontare le prestazioni di manufatti surrogabili e definire delle possibili strategie e soluzioni innovative per il loro miglioramento complessivo in un’ottica di ciclo di vita. Tali studi avranno una duplice finalità:

promuovere le tecnologie più efficienti ed ecocompatibili, ed incentivare la ricerca sulle tecnologie con i maggiori margini di miglioramento;

comunicare al pubblico informazioni attendibili e scientificamente fondate.

A mero titolo esemplificativo sono riportati alcuni studi condotti con il metodo LCA riguardo le tecnologie per lo sfruttamento delle RES.

Collettori solari termici

L’utilizzo termico dell’energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da far divenire i collettori solari una tecnologia economica e largamente usata per il riscaldamento dell’acqua sanitaria. Il rendimento dei pannelli è aumentato di molto nell’ultimo decennio, rendendo commercialmente competitive varie applicazioni nell’edilizia e nell’agricoltura.

I collettori solari termici possono inoltre essere integrati a sistemi innovativi di Solar Cooling, per il trattamento e condizionamento dell’aria. Anche in questo caso i risultati sono confortanti, con tempi di payback stimati pari a circa 3 anni.

I risultati di alcuni studi di LCA sono presentati in Tab. 1. La Fig. 1 mostra un dettaglio di uno studio applicato ad un collettore solare termico integrato a circolazione naturale. Le ricerche citate confermano il giudizio positivo inerente a questa tecnologia, con elevati benefici energetici ed ambientali cui si affiancano tempi di payback compresi tra uno e due anni. Dagli studi emerge che la maggior parte degli impatti sono imputabili alla produzione delle materie prime impiegate nella manifattura. Inoltre, fasi spesso trascurate, come la manutenzione, comportano impatti significativi (connessi principalmente alla sostituzione di elementi di ricambio). I collettori solari sono comunque caratterizzati da ampi margini di miglioramento connessi sia alla “dematerializzazione” dei manufatti (riduzione delle masse complessivamente impiegate ed eliminazione o sostituzione delle componenti con impatti maggiori) sia all’ottimizzazione della fase d’uso.

Moduli solari fotovoltaici

L'utilizzo dei collettori fotovoltaici (PV) per la produzione di elettricità è una tecnologia matura ma ancora caratterizzata da bassi valori di efficienza degli impianti ed elevati costi di produzione.

A questi costi devono anche essere sommati i “costi energetici ed ambientali”, che rendono questa tecnologia meno competitiva rispetto ad altri impianti per le RES.

Sono analizzate quattro tipologie differenti di collettori PV (wafer in silicio monocristallino e multicristallino, PV in nastri, e moduli in CdTe). Dal confronto emerge che le emissioni specifiche di ciclo di vita dei collettori PV variano significativamente in base al tipo di tecnologia, al mix energetico del paese di produzione, ed inoltre al livello di insolazione della località di installazione.

Ad esempio i wafer monocristallini hanno prestazioni specifiche che variano da 39 gCO₂/kWh a 49 gCO₂/kWh, mentre i moduli in CdTe hanno emissioni specifiche che variano da 15 gCO₂/kWh a 21 gCO₂/kWh. Ciò testimonia le grandi prospettive di sviluppo e diffusione di questi collettori che, sebbene siano caratterizzati da un'efficienza molto bassa e non superiore al 9%, hanno complessivamente prestazioni ambientali migliori. Le tecnologie fotovoltaiche sono inoltre caratterizzate da elevati margini di miglioramento, con un'intensa attività di ricerca finalizzata soprattutto alla diminuzione dello spessore dei wafer ed all'aumento dell'efficienza dei moduli. Si prospetta di arrivare a dimezzare gli spessori dei wafer in silicio multicristallino nei prossimi 5 anni, e di incrementare entro il 2010 l'efficienza dei moduli in CdTe dal 9% attuale al 12%. Secondo questa ultima ipotesi, i moduli in CdTe saranno caratterizzati da emissioni specifiche pari a 11 gCO₂/kWh, rendendo tali moduli estremamente competitivi rispetto ad altre tecnologie surrogabili.

Impianti per lo sfruttamento dell'energia eolica

L'energia del vento è generalmente utilizzata mediante l'impiego di macchine eoliche in grado di trasformare l'energia cinetica in energia meccanica di rotazione, utilizzabile sia per l'azionamento diretto di macchine operatrici che per la produzione di energia elettrica.

Nell'ultimo decennio si è assistito ad un notevole aumento del numero di impianti per lo sfruttamento dell'energia eolica. Nel 2008 era installata in Europa una potenza complessiva di 65.933 MW; l'Italia con i suoi 3.736 MW installati rappresenta il terzo produttore in Europa.

Parallelamente a tale sviluppo industriale, sono stati realizzati numerosi studi inerenti alle prestazioni energetiche ed ambientali di diverse tipologie di “wind farm”. Un'interessante sintesi di 75 studi di LCA di impianti eolici con potenze variabili (comprese tra 0.3 e 300 kW). Tale indagine classifica i casi studio secondo tre indicatori: l' “energy intensity”, la “CO₂ intensity”, ed il fattore di carico (load factor).

Dallo studio è emerso che:

i valori dell' “energy intensity” variano da 0,014 kWh/kWh_{el} ad 1 kWh/kWh_{el};

i valori della “CO₂ intensity” variano da 7.9 gCO_{2eq}/kWh_{el} a 123.7 gCO_{2eq}/kWh_{el};

i fattori di carico variano dal 6% al 50.4%.

Questi “range di variazione” così sensibilmente diversi sono imputabili a:

la dimensione degli impianti, con prestazioni migliori per impianti di grossa taglia;

la velocità media e la frequenza del vento per la località selezionata;

ipotesi anche molto differenti nello svolgimento delle LCA, inclusi i diversi confini del sistema, regole di cut off e dati bibliografici;
diverse ipotesi per la vita utile degli impianti.

Dallo studio è inoltre emerso che i valori degli indicatori di payback sono molto bassi (minori di un anno) anche nell'ipotesi di ridotti valori della produzione elettrica dell'impianto.

Impianti idroelettrici

Gli impianti idroelettrici rappresentano a livello mondiale la tecnologia per lo sfruttamento delle RES maggiormente consolidata e matura. Tali impianti sono largamente diffusi in vari Paesi ed il loro output energetico incide in modo significativo sulle prestazioni dei mix energetici nazionali. Gli impianti idroelettrici, specie quelli dotati di bacino di riserva, presentano alcuni aspetti peculiari quali l'elevata flessibilità (con la possibilità di modificare rapidamente il deflusso idrico e la conseguente produzione elettrica) e la multi-funzionalità degli impianti, utilizzati anche per l'accumulo di acqua e per il controllo delle piene. Gli impianti idroelettrici sono inoltre caratterizzati da basse emissioni per kWh di energia prodotta. Nonostante gli elevati consumi di materie prime per la realizzazione delle infrastrutture, la vita utile elevata, i ridotti consumi in fase d'uso e l'elevata producibilità comportano impatti specifici molto bassi. Da un'indagine dei dati in letteratura risulta che gli impianti idroelettrici sono caratterizzati da emissioni per kWh che variano da pochi grammi a 20 gCO₂eq/kWh, e con valori di Return Ratio compresi tra 50 e 250. L'elevata variabilità è correlata ai parametri meteorologici, alla vita utile ed alle condizioni di funzionamento.

Allo stato attuale di sviluppo tecnologico, lo sfruttamento delle RES, insieme al miglioramento dell'efficienza dei sistemi energetici, rappresentano il principale strumento per l'affrancamento dalla dipendenza delle fonti fossili e per la lotta ai problemi di inquinamento globale.

Anche la fissione nucleare, per quanto caratterizzata da bassi valori di alcuni indicatori specifici (quale ad esempio le emissioni di CO₂eq. per kWh di elettricità prodotta), non può considerarsi una risposta sostenibile a causa della limitatezza delle riserve di uranio. La fissione può comunque rappresentare una risposta momentanea, nel processo di transizione verso tecnologie future pienamente sostenibili, quali la fusione nucleare.

Gli impianti per lo sfruttamento delle RES, così come gli impianti nucleari attuali, sono comunque caratterizzati da impatti di ciclo di vita significativi. Inoltre tali impianti sono caratterizzati da una scarsa flessibilità, e da una producibilità strettamente variabile con fenomeni non controllabili, come ad esempio nel caso delle tecnologie solari ed eoliche dipendenti dai parametri meteorologici. Occorre in tal senso investire nello studio e nella ricerca di soluzioni progettuali migliorative, che mirino a *dematerializzare* gli impianti, sostituire i componenti con impatti

maggiori, aumentare l'efficienza di conversione energetica, incrementare la durabilità e migliorare la riciclabilità e la gestione nel fine vita.

Questi criteri ecocompatibili di progettazione dovrebbero essere definiti ed inclusi all'interno di apposite "misure di esecuzione" per gli impianti per lo sfruttamento delle RES, e contribuire così ad un miglioramento progressivo dei prodotti presenti nel mercato, oltre che rappresentare per i consumatori una garanzia aggiuntiva della convenienza economica, ambientale ed economica di tali tecnologie.

4.2.3.4 Influenza delle procedure di allocazione in una LCA di un sistema di gestione integrata degli RSU

Negli ultimi anni l'LCA è stata applicata non solo ai prodotti ma anche ai servizi, compresi quelli legati alla gestione dei rifiuti. Numerosi sono gli studi che hanno confrontato tra loro le diverse modalità di gestione dei rifiuti urbani (RSU), mentre non sono molti quelli che hanno analizzato l'intero sistema di gestione integrata degli RSU. Inoltre, in questi studi, il problema delle allocazioni, che nasce in quanto il sistema di gestione dei rifiuti oltre a svolgere la funzione di smaltimento dei rifiuti produce anche dei nuovi prodotti quali energia e materiali riciclati, viene solitamente risolto utilizzando la tecnica di espansione dei confini del sistema. Mentre l'influenza, sui risultati dell'analisi, dell'applicazione di tale tecnica al recupero di energia dal sistema è stata già ampiamente analizzata, solo alcuni studi hanno affrontato apertamente il problema di come effettuare l'allocazione in presenza di attività di riciclo di materiali.

Recentemente sono state condotte ricerche che si pongono l'obiettivo di valutare gli effetti dell'applicazione di diverse procedure di allocazione sui risultati di un'analisi LCA applicata ad un intero sistema di gestione integrata dei RSU è questo il caso dell'analisi di Lucia Rigamonti.

Le singole fasi del sistema di gestione integrata degli RSU e, quindi, nello specifico, la raccolta differenziata, il riciclo di acciaio, alluminio, vetro, legno, carta e plastica, il compostaggio del verde e dell'umido e l'incenerimento del residuo indifferenziato in un impianto dedicato in funzionamento cogenerativo.

I risultati relativi al riciclo di ciascun materiale da imballaggio indicano un beneficio in tutti gli indicatori di impatto analizzati. Tale beneficio, però, si riduce notevolmente nel momento in cui si tiene in considerazione lo scadimento qualitativo del materiale riciclato e quindi nel momento in cui si utilizza una procedura di allocazione a ciclo aperto. In particolare, nel riciclo della carta, considerando un rapporto di sostituzione (calcolato sul numero massimo effettuabile di cicli di riciclo) della carta vergine con quella riciclata pari a 1:0,83 (ossia 1 t di carta da riciclo evita la produzione di 0,83 t di carta vergine), gli indicatori di impatto subiscono un peggioramento del 18% circa rispetto al caso in cui si ipotizzi un rapporto di sostituzione 1:1. Similmente, nel caso del

riciclo della plastica, utilizzando un rapporto di sostituzione 1:0,81 (determinato utilizzando il valore economico del polimero riciclato rispetto a quello vergine) si ottiene un peggioramento di tutti gli indicatori di impatto attorno al 22% rispetto al caso in cui si utilizzi un rapporto di sostituzione 1:1. Questi peggioramenti si ripercuotono poi sul valore degli indicatori dell'intero sistema di gestione integrata degli RSU. Tali indicatori presentano segno negativo, ad indicare che il sistema di gestione dei rifiuti riesce a compensare completamente i propri impatti grazie alla produzione di energia e di materiali che avviene al suo interno e che evita la produzione di energia e materiali per via convenzionale (rispettivamente da combustibili fossili e da materie prime vergini). Il beneficio, sia energetico che ambientale, si riduce però di circa il 20% nel momento in cui per carta e plastica si utilizza lo scenario dell'allocazione a ciclo aperto.

La ricerca ha mostrato che le ipotesi sulle procedure di allocazione, nel momento in cui nel sistema analizzato sono presenti delle attività di riciclo dei materiali, sono fondamentali. Di conseguenza, nell'analisi LCA di sistemi di gestione dei rifiuti devono essere presentate in modo trasparente non solo le ipotesi relative all'energia sostituita grazie a quella prodotta dal sistema, ma anche quelle relative ai materiali sostituiti con quelli prodotti dal riciclo, sia in termini di tipologia di materiale che in termini di quantità. In particolare, questa ricerca ha determinato i rapporti di sostituzione, tra materiale vergine e riciclato, di carta e plastica, che potranno quindi essere utilizzati in altri studi che includano il processo di riciclo di tali materiali.

I risultati delle analisi LCA di sistemi integrati di gestione degli RSU sono strettamente connessi alle ipotesi effettuate sulla modellizzazione del recupero di materia e di energia. Risulta quindi necessario effettuare un'analisi più approfondita circa le reali caratteristiche dei materiali riciclati e quindi la reale possibilità di sostituzione dei materiali vergini, di modo da determinare il più corretto rapporto di sostituzione da utilizzare poi nell'analisi LCA.

4.2.3.5 Elaborazione ed implementazione di un modello tecnologico di Life Cycle Costing basato sull'analisi INPUT-OUTPUT ottimizzazione del livello di raccolta differenziata in sistemi di gestione integrati dei rifiuti urbani tramite LCA

Lo studio si propone di presentare risultati in termini quantitativi, sintetici e analitici, sul potenziale impatto ambientale di differenti strategie di gestione dei rifiuti e nel contempo quello di incrementare la conoscenza dei decision-makers sui benefici che si possono ottenere dall'utilizzo degli strumenti di LCA.

L'applicazione dell'LCA al ciclo integrato dei rifiuti si pone come obiettivo la valutazione di scenari di gestione integrata dei rifiuti solidi urbani rappresentativi della realtà italiana, analizzando le attività di raccolta differenziata, recupero dei materiali e recupero energetico dai residui. In particolare, il recupero di materia e il recupero di energia sono analizzati assieme con lo scopo di

individuare un intervallo ottimo di raccolta differenziata che porti ai migliori risultati energetici ed ambientali. I risultati mostrano che il livello ottimo di raccolta differenziata è attorno al 60%, quando tutti i materiali sono raccolti con alta efficienza; tale valore scende attorno al 50%, se il valore complessivo del 60% si raggiunge con una raccolta molto spinta della frazione organica a scapito dei materiali da imballaggio, o se il valore complessivo del 60% si raggiunge con la raccolta di tutte le frazioni ma con uno scadimento della qualità del materiale stesso raccolto. La configurazione ottima del sistema di gestione dei rifiuti urbani prevede quindi un livello di raccolta differenziata come sopra indicato, con il successivo recupero di materia delle frazioni separate e il recupero di energia dal residuo indifferenziato in un termovalorizzatore di taglia grande e in assetto cogenerativo.

4.3.2.6 Valutazione di tecnologie di valorizzazione di scorie da incenerimento di RSU mediante LCA

Il laboratorio LCA & Ecodesign ha sviluppato in collaborazione con l'università di Modena e Reggio Emilia uno studio per il trattamento delle scorie derivanti dall'incenerimento dei rifiuti solidi urbani (RSU), come fase di fine vita del ciclo di gestione di RSU. Lo scopo dello studio è individuare i potenziali impatti ambientali causati dalle due soluzioni proposte: smaltimento in discarica di scorie e loro valorizzazione come materia prima per la produzione di fritte di vetro per smalto. La funzione del sistema è il trattamento delle scorie e ulteriori funzioni sono la produzione di alluminio, acciaio/ferro e fritte per smalti. Per confrontare gli scenari includendo tutte le diverse funzioni si è operata un'espansione dei confini del sistema, mentre per considerare l'inquinamento potenziale nel tempo è stato scelto un orizzonte temporale di 100 anni.

I risultati del LCIA (Life Cycle Impact Assessment) mostrano che lo scenario di valorizzazione delle scorie per la produzione di fritte presenta una rilevante riduzione dei potenziali impatti ambientali rispetto al conferimento in discarica. Il recupero delle scorie ed il loro reinserimento in tale ciclo produttivo ha una grande importanza per il recupero di metalli (alluminio, ferro/acciaio) e per la sostituzione delle materie prime utilizzate nella produzione della frutta.

Capitolo 5 – Applicazione del modello ad un caso studio. Il PUA Coroglio-Bagnoli

Il destino industriale dell'area di Bagnoli si delinea nella metà dell'ottocento, quando il golfo di Napoli, da Pozzuoli a Castellammare viene scelto, ad opera soprattutto di stranieri come luogo privilegiato per l'insediamento di manufatti industriali. In ritardo rispetto al resto dell'Europa, ma certamente in anticipo sulle altre regioni italiane, Napoli ha visto nascere ad est ed ad ovest zone industriali urbane già durante il regno dei Borboni, tra il 1830 ed il 1859.

L'area ex Italsider ed ex Eternit ha avuto una storica destinazione industriale grazie alla quale si è preservata una vasta porzione di territorio cittadino da forme di speculazione. Oggi è uno dei pochi siti in Italia ad essere inserito nel piano nazionale delle bonifiche dove l'attività è già in corso con l'obiettivo di restituire un luogo alla sua destinazione naturale, seppure dopo anni di sfruttamento invasivo.

L'area assegnata dal Consiglio Comunale di Napoli alla Bagnolifutura per attuare gli interventi previsti dalla strumentazione urbanistica vigente è pari a circa 330 ettari e si estende nei quartieri di Bagnoli e Fuorigrotta. Circa il 50% di quest'area era occupato dall'impianto siderurgico dell'Italsider. A metà degli anni '90 è stata avviata l'attività di demolizione e smantellamento della fabbrica, al termine della quale c'è oggi un'area non più edificata che appare particolarmente suggestiva dal punto di vista ambientale e paesaggistico: affacciata sul golfo di Pozzuoli, posta tra la collina di Posillipo e Nisida e caratterizzata dalla presenza di ciminiere ed edifici che rappresentano una testimonianza di archeologia industriale.

L'area si trova a cavallo tra i quartieri di Bagnoli e Fuorigrotta. Al primo, da sempre vissuto nell'immaginario collettivo come il quartiere operaio per antonomasia di Napoli, appartengono notevoli bellezze paesaggistiche come la zona di Coroglio e l'isolotto di Nisida. Non a caso l'obiettivo fondamentale della riconversione dell'area ex siderurgica è proprio il recupero dello stato originario di questi luoghi, un tempo ricchi di vegetazione mediterranea e meta balneare assai in voga. Fuorigrotta sta vivendo, invece, una fase di intenso dinamismo, conseguente alla presenza di importanti infrastrutture logistiche, al commercio e alla Mostra d'Oltremare.

5.1 Il PUA Coroglio Bagnoli

Il progetto di trasformazione delineato dal Piano Urbanistico Esecutivo di Bagnoli-Coroglio prevede la valorizzazione delle risorse ambientali e il rafforzamento della vocazione turistico - culturale dell'area, realizzando un insediamento urbano nel quale le nuove attività - residenze, attrezzature per il turismo, il tempo libero e lo svago, attività produttive ad alto contenuto tecnologico - si integrano con la natura circostante. Gli elementi chiave della trasformazione

dell'area sono infatti il verde e la natura: un grande parco di circa 120 ettari occuperà gran parte dell'area oggetto della bonifica. All'interno del parco, attraverso il recupero di alcuni manufatti di archeologia industriale, verranno realizzate attrezzature a scala urbana, attrattori economici e servizi di quartiere. In definitiva si tratta di dar vita ad un'area integrata, nella quale le funzioni più squisitamente legate al mare, dalla balneazione al turismo nautico e da diporto si coniughino funzionalmente con le attività a terra, di tipo terziario, residenziale e produttivo, il tutto in un contesto di sinergia con i quartieri che la circondano.

5.1.1 Reperimento dati

Lo strumento urbanistico generale che fissa le regole per la trasformazione dell'area di Bagnoli è la Variante Occidentale al P.R.G. approvata con Decreto del Presidente della Giunta Regionale della Campania N. 4741 del 15 aprile 1998. Lo strumento attuativo delle previsioni del P.R.G. per l'ambito di Bagnoli-Coroglio è il Piano Urbanistico Esecutivo approvato con delibera di Consiglio Comunale n. 40 del 16 maggio 2005. Per gli aspetti ambientali, paesaggistici e di tutela del territorio, una parte dell'area sottoposta al Piano Urbanistico Esecutivo è compresa nel Piano Territoriale Paesistico di Posillipo approvato con Decreto del Ministro per i Beni Culturali e Ambientali il 14 dicembre 1995.

Il cuore del nuovo insediamento è rappresentato dal grande parco, nel complesso circa 150 ettari, che si sommano al grande polmone verde della collina di Posillipo e dell'isola di Nisida. Nel parco è prevista la conservazione di alcuni dei più significativi manufatti di archeologia industriale, che sono stati preservati dalla demolizione e che saranno destinati a ospitare alcune delle funzioni più rappresentative della nuova Bagnoli. Alcune, come il museo della civiltà del lavoro a Napoli, avranno lo scopo di preservare e valorizzare la memoria della presenza industriale a Napoli e a Bagnoli in particolare. Altre servono invece prevalentemente a determinare una funzione anche produttiva del parco, e dovranno pertanto caratterizzarsi come poli d'attrazione a livello internazionale, capaci di richiamare a Bagnoli centinaia di migliaia di visitatori l'anno.

Intorno al parco, in una posizione che consente di raccordare il parco stesso con gli insediamenti esistenti, sono disposti *i nuovi quartieri*:

- il quartiere del turismo lungo via Nuova Bagnoli e a diretto contatto con il mare;
- il quartiere della produzione e della ricerca a ovest del parco, a saldatura con il quartiere di Cavalleggeri d'Aosta;
- il quartiere terziario e direzionale in corrispondenza del fascio dei binari della stazione di Napoli Campi Flegrei,

Componente essenziale della qualità ambientale del nuovo quartiere è la dotazione di *infrastrutture per la mobilità*. Il piano propone una radicale riforma del sistema stradale locale e dei collegamenti tra il nuovo insediamento e la rete autostradale regionale. Ma è soprattutto la rete dei trasporti su ferro che garantirà al sistema di attrezzature di Coroglio collegamenti efficienti e al tempo stesso partecipi del nuovo pregiato paesaggio urbano.

Un'area di circa 70 ha, ai margini del parco, è stata destinata per alberghi, attrezzature turistiche e produttive (connesse alla ricerca) e residenze mentre da definire è la localizzazione del previsto approdo turistico per circa 700 posti barca. Per quanto attiene i collegamenti è previsto un miglioramento di quelli su ferro, la costruzione di un nuovo tratto della Cumana al servizio del parco e della spiaggia, nonché due nuove funicolari fra Bagnoli - Fuorigrotta e Posillipo.

Il piano Urbanistico Attuativo Coroglio – Bagnoli prevede all'interno dell'Area Tematica 1 – Parco e Spiaggia la realizzazione di un approdo turistico, il cosiddetto “porto canale”. Si tratta di uno specchio d'acqua di 7,6 ha per circa 350 posti barca su cui si affacceranno gli alberghi e le residenze.

Gli indici urbanistici caratteristici del PUA Bagnoli sono così sintetizzabili:

Sul residenziale N.C. = 60.3 ha

Sul residenziale Retrofit = 7.4 ha

Sul Terziario e Servizi = 5.5 ha

Attrezzature Pubbliche= 30 ha

Verde pubblico 110 ha

Strade, piste, parcheggi 1,2 ha

$S_{cop} = 200.000 \text{ mq}$

$V_{res} = 630.000 \text{ mc}$

$h_{media} = 11,3 \text{ m}$

$V_{ter} = 1.700.000 \text{ mc}$

$h_{media} = 3,5 \text{ m}$

5.1.2 Variante PUA 2010

La Giunta Comunale ha approvato la delibera che prevede **l'adeguamento del Piano Urbanistico Attuativo della zona occidentale della città**.

La delibera che ha effetto solo sui suoli attualmente di proprietà della Bagnolifutura Coroglio, Bagnoli, Cavalleggeri, Cocchia e Arsenale, e pone alcuni punti fermi e irrinunciabili, per scongiurare ogni ipotesi speculativa. Consente di riequilibrare il rapporto di destinazioni d'uso,

prevedendo, a parità di volumetrie e quindi nel pieno rispetto del Piano Regolatore Generale, l'aumento del volume destinato alle residenze a fronte di una pari diminuzione di quello destinato alla produzione di beni e servizi.

Infatti, prima del varo della delibera, a Bagnoli erano previsti circa 410mila metri cubi di abitazioni, poco meno di 154mila di alberghi, oltre 1 milione 145mila metri cubi per attività terziarie, commerciali e produttive. Per un totale di circa 1.700.000 metri cubi complessivi, che restano tali anche dopo la variante, il nuovo PUA prevede maggiore volumetria per le residenze che passano a quasi 626mila, quelli per gli alberghi sono immutati, quelli per la produzione di beni e servizi diminuiscono a 920.000 metri cubi.

Questa variante in termini di IE, determina sicuramente un aumento delle pressioni, riducendo il potenziale di mitigazione dell'area.

Sul residenziale N.C. = 60.3 ha

Sul residenziale Retrofit = 7.4 ha

Sul Terziario e Servizi = 5.5 ha

Attrezzature Pubbliche= 30 ha

Verde pubblico 110 ha

Strade, piste, parcheggi 1,2 ha

$S_{cop} = 200.000 \text{ mq}$

$V_{res} = 630.000 \text{ mc};$

$h_{media} = 11,3 \text{ m}$

$V_{ter} = 1.070.000 \text{ mc};$

$h_{media} = 3,5 \text{ m}$

5.2 Applicazione del modello

Il PUA Bagnoli, come si evince dai parametri urbanistici descritti nel paragrafo 5.1, è un insediamento caratterizzato da una densità abitativa molto bassa e per questo motivo ha un potenziale di mitigazione dell'IEU che non solo permetterà di azzerare l'impatto ambientale dovuto alle Abitazioni e Infrastrutture ma anche, come vedremo, di ridurre l'IEU dei quartieri limitrofi grazie all'effetto benefico dell'utilizzo diffuso delle FER. Analizzando il PUA emerge infatti che la disponibilità di spazio in copertura per lo sfruttamento della fonte solare attraverso impianti fotovoltaici è decisamente sufficiente a soddisfare il fabbisogno energetico di un insediamento abitativo caratterizzato da valori ridotti come quello in esame.

Lo studio analizza tre scenari di riferimento che si riferiscono all'utilizzo del 50% del 75% o

della totalità delle superfici disponibili, ed allo stesso modo analizza le dispersioni energetiche dovute alla climatizzazione degli edifici, valutando alternativamente costruzione realizzata secondo le prescrizioni normative o alternativamente, abitazioni ad alta efficienza.

Le categorie di consumo che non interessano direttamente il terreno per l'Energia quelle differenti da Abitazioni ed Infrastrutture non sono state analizzate dal punto di vista della Matrice di Mitigazione a meno di riduzioni in termini percentuali del contributo dovuto a beni di consumo, sussistenza e servizi.

Per quanto riguarda la categoria dei rifiuti è stato possibile prevedere degli interventi di mitigazione grazie ai casi studio pubblicati dall'ENEA, mentre per i trasporti non è possibile approfondire le potenzialità di mitigazione poiché è necessario implementare una procedura specifica per la categoria.

5.2.1 Matrice degli Impatti

L'Analisi della Matrice degli Impatti parte dalla raccolta dei dati, sia fisici che demografici, dalle NTA e dalle tavole del PUA Bagnoli. Da qui è possibile quindi identificare la quantità di persone che si insedierà nel nuovo quartiere.

Come già visto nel capitolo 4, l'analisi demografica influisce direttamente sull'IEU dovuta agli Alimenti, ai Beni di Consumo ed ai Servizi.

Allo stesso tempo questo premio dato è necessario per valutare il prelievo idrico ed il consumo di ACS.

Per la determinazione dell'ambiente costruito ci si è avvalsi del modello implementato nel capitolo 4 che ha portato alla caratterizzazione dell'IEO per le quattro tipologie edilizie fondamentali. Il nuovo insediamento di Bagnoli sarà composto da un mix di edifici in linea ed a torre, oltre ad un numero limitato di edifici a bassa densità. L'analisi delle tipologie edilizie presenti nell'area ha quindi permesso di caratterizzare il modello dell'IEU con il reale schema insediativo previsto dal piano.

Con la caratterizzazione del sistema fisico è stato quindi possibile calcolare il valore dell'IEU relativa ad Abitazione ed Infrastrutture, composta dalla somma delle aliquote relativa all'EP, l'indice di Prestazione Energetica degli edifici, il consumo idrico, l'Embodied Energy e la quantità di suolo occupata dagli edifici.

Per la categoria trasporti non è stato possibile effettuare alcuna caratterizzazione, a meno della Superficie Edificata occupata da strade ed infrastrutture di trasporto, indicata dalle norme di piano. Per il calcolo del contributo del terreno per l'Energia sono stati utilizzati i dati relativi al Comune di Napoli. Il computo dei Rifiuti prodotti è stato invece ottenuto a partire dai dati

demografici e da quelli ISTAT relativi al cittadino medio napoletano. La stessa fonte è stata utilizzata per identificare il livello di Raccolta Differenziata raggiunto in città.

Dall'analisi dei risultati emerge con chiarezza che ancora una volta il contributo relativo al terreno per l'energia è quello più alto in assoluto, rappresentando ben il 75% dell'IEU totale, seguito a distanza dal terreno agricolo, quella utile alla produzione di beni di sussistenza.

Tra le categorie di consumo spicca con il 45% Abitazione e Infrastrutture, proprio a causa dell'alto contenuto energetico delle attività svolte nell'ambiente costruito. I trasporti sono invece responsabili per il 20%, seguiti dai beni di consumo (15%) e dai rifiuti prodotti (12%). Sebbene la Matrice delle responsabilità individua impatti provocati dai trasporti e dai rifiuti anche su tipologia di terreno normalmente non considerate, non è stato possibile eseguire il calcolo di detti contributi a causa della necessità di implementazione della metodologia proposta con algoritmi specifici relativi a queste due categorie.

5.2.2 Matrice di Mitigazione

La matrice di Mitigazione del PUA BAGNOLI è stata costruita ancora una volta applicando i parametri individuati nel capitolo 4 al territorio analizzato. Oltre all'identificazione delle tipologie edilizie è stato quindi necessario reperire i dati relativi agli "indici geografici" e, tramite opportuni algoritmi, trasformare la disponibilità di spazio in potenziale energetico.

L'efficienza energetica degli edifici è stata invece valutata considerando due alternative progettuali che prevedono alternativamente il rispetto dei limiti di prestazione energetica imposti dalla normativa ed i valori relativi ad una cosa passiva.

Il potenziale di mitigazione categorie di esclusiva responsabilità dei cittadini è stato calcolato considerando una riduzione del 20% del contenuto calorico alimentare, ottenibile semplicemente con piccole modifiche alla dieta media locale, una riduzione di spesa del 30% per beni di consumo e servizi ed un aumento del 35% della raccolta differenziata, oltre all'introduzione di un digestore anaerobico per il trattamento dell'umido all'interno del quartiere, che consentirà un recupero energetico consistente grazie alla produzione di biogas dal rifiuto e di energia termica ed elettrica dalla combustione del gas prodotto.

I risultati ottenuti per i trasporti nella Matrice di Mitigazione sono invece riconducibili a semplici ipotesi di riduzione di mobilità a fronte dell'introduzione di sistemi integrati di mobilità sostenibile come bike-sharimg e car-sharimg. L'area considerata oltretutto è molto ben servita dalle reti di trasporto pubblico per cui il bisogno di mobilità degli abitanti dell'area sarà sicuramente inferiore alla media cittadina, che rappresenta il dato iniziale.

Resta quindi necessaria l'implementazione della metodologia di calcolo che consente di valutare gli effetti benefici di politiche e tecnologie per la mobilità sostenibile e, ancora una volta, l'LCA applicata alle politiche di gestione della mobilità urbana, si candida ad essere lo strumento

più adatto al tema e più facilmente integrabile alla metodologia.

L'analisi della Matrice di Mitigazione mette in evidenza l'enorme potenziale che le FER hanno in un quartiere a bassa densità insediativa.

Il potenziale di Mitigazione connesso terreno per l'energia consumato da abitazioni e infrastrutture è di gran lunga superiore all'IEU che il quartiere genererà se saranno applicate le attuali norme di piano. I 15 gha messi a disposizione dalle FER compensano abbondantemente i 4,9 gha che costituiscono l'attuale IEU del PUA.

E' importante però sottolineare come solo 3,6 dei 4,9 gha del PUA sono ascrivibili al terreno per l'energia e che i restanti 1,3 gha non sono annullati dalla Matrice di Mitigazione che deriva dagli interventi ipotizzati.

Anche i rifiuti producono un sensibile effetto benefico sul territorio che deriva dall'ottimo risultato ottenibile dall'integrazione della raccolta differenziata con la digestione anaerobica.

Gli altri contributi risultano invece essere meno importanti, sebbene siano in grado di agire su numerose tipologie di terreno.

5.2.3 Biocapacità

La Biocapacità dell'ambiente costruito, come illustrato nel capitolo 4 e di solito seriamente compromessa, dalle attività antropiche che si svolgono in ambito urbano e dalla cementificazione che caratterizza quasi tutti i centri urbani.

Questo discorso è particolarmente adatto al caso di Bagnoli, quartiere storicamente a vocazione industriale.

L'area, a causa dei metalli pesanti che si sono accumulati in un secolo di attività siderurgica, è infatti oggi oggetto di bonifica proprio perché il suo suolo è tra i più inquinanti d'Italia.

E' quindi diverso declassare l'intera superficie territoriale a terreno per i pascoli, anche se buona parte sarà utilizzata per le attrezzature di verde pubblico urbano e come area edificabile, assimilata da Wackermagel a terreno agricolo, il più bio produttivo in assoluto.

Il caso di Bagnoli evidenzia quindi la pecca del modello dell'IE globale circa alcune semplificazioni non ritenute adatte all'applicazione locale della metodologia.

Lo stesso discorso può essere fatto per la superficie marina di pertinenza del PUA Bagnoli, poiché anch'essa ha subito incalcolabili danni ecologici degli ultimi cento anni.

Un'ulteriore considerazione può essere fatta sulla biocapacità di Bagnoli. Se è vero che la superficie urbanizzata è irrimediabilmente compromessa è altrettanto giusto assimilare la superficie adibita a parco o terreno per l'energia. Questo terreno: improduttivo è infatti capace di assorbire una discreta quantità di CO₂ grazie ai 120 ha di essenze mediterranee previste dal PUA. Per calcolare precisamente la relativa biocapacità è però necessario moltiplicare la superficie disponibile per il coefficiente di produttività YF per il quale non è stato possibile individuare un dato affidabile. Anche questo aspetto è rimandato ad una trattazione puntuale dell'argomento.

5.3 Impronta ecologica urbana di Bagnoli. Risultati e considerazioni

L'impronta ecologica urbana mitigata è definibile come la differenza tra la matrice degli impatti e quella di mitigazione.

Nel caso di Bagnoli possiamo rilevare le potenzialità di mitigazione dell'IEU e soprattutto il fatto che una città, se opportunamente dimensionata e densificata, può chiudere il proprio metabolismo all'interno dei confini amministrativi e raggiungere i livelli di sostenibilità caratteristici della città pre-industriale che era per forza di cose indissolubilmente legata alle risorse del territorio.

La ridotta densità abitativa dell'area, unitamente alle caratteristiche climatiche del territorio e all'ipotesi di applicazione dei concetti e delle procedure basilari del governo sostenibile del territorio, hanno permesso addirittura di raggiungere valori di mitigazione relativi all'IEU di determinate categorie superiori a quelle riscontrati nella matrice degli impatti; il risultato è un effetto di mitigazione sovra locale che riduce l'IEU anche dagli insediamenti limitrofi.

Bisogna però analizzare puntualmente questi valori ed evitare di incorrere nell'errore di considerare l'IEU composta da valori omogenei. L'IEU è senza dubbio un indicatore di sostenibilità globale, ma è composto da una serie di categorie indipendenti tra loro. È quindi lecito affermare che l'effetto di mitigazione dell'IEU può anche provocare risultati complessivi negativi (in termini di valore dell'IEU), ma molto probabilmente si riscontreranno deficit specifici di tipologie di terreno per valori causati da particolari categorie di consumo. È evidente per esempio che, a meno di particolari conformazioni del territorio urbano e livelli di fertilità sopramedia, la categoria relativa ai beni di sussistenza non potrà mai raggiungere valori negativi, così come sarà possibile, specie nei piccoli comuni che caratterizzano il territorio italiano, raggiungere livelli di autosufficienza energetica che garantiscono potenziali di mitigazione del territorio per l'energia che compensi sia le aliquote relative alle altre categorie di consumo che, addirittura, il territorio per l'energia occupato da altri sistemi antropici limitrofi.

I risultati acquisiti dall'applicazione del modello sul PUA Bagnoli riflettono quanto appena osservato.

Grazie alla produzione di energia da fonti rinnovabili è stato infatti possibile passare da 3,9 gha necessari per assorbire l'energia a -12,3 gha, cioè un potenziale di mitigazione per le aree limitrofe addirittura tre volte superiore alla pressione registrata dallo stesso PUA attuato seguendo le indicazioni di piano. In sostanza Bagnoli sarà in grado di compensare il deficit di terreno per l'energia che è caratteristico delle costruzioni successive agli anni '60, periodi di costruzione dell'adiacente quartiere di Fuorigrotta. Anche il terreno per l'agricoltura ha registrato riduzioni dell'ordine del 30%, risultato in linea con i valori imposti nella matrice di mitigazione. Allo stesso modo sono state registrate riduzioni dell'IEU relativamente a pascoli, foreste e mare, un accordo con gli input forniti dalla matrice di mitigazione.

Per quanto riguarda le categorie di consumo si è registrato un forte decremento dell'IEU relativo ad abitazioni ed infrastrutture che, con i rifiuti, caratterizzati da valori di mitigazione molto minori, è l'unica categoria che riesce ad azzerare l'IEU dell'area considerata e contribuire alla

gestione dei quartieri limitrofi.

Tutte le altre categorie registrano valori di IEU positivi, che rappresentano l'intensità della pressione esercitata dalle categorie stesse valori registrati vanno poi confrontati con la biocapacità per individuare il reale impatto ambientale dell'area considerata, che comunque registra valori molto inferiori alla media proprio grazie alla sua conformazione.

Capitolo 6 – Conclusioni

Il lavoro svolto ha fornito in primo luogo uno strumento di valutazione dell'IE specifico dell'ambito urbano. Grazie infatti alla caratterizzazione dell'IEU per la categoria Abitazioni ed Infrastrutture è stato possibile, attraverso l'utilizzo degli indici di urbanistica classica, ricostruire l'ambiente costruito e schematizzarlo con quattro tipologie edilizie, gli edifici isolati, quelli a schiera, gli edifici in linea e quelli a torre. Ognuno di essi è caratterizzato da un'impronta ecologica specifica che deriva dalla forma dell'edificio, dalla relativa prestazione termica, dal sistema impiantistico e dal potenziale produttivo dell'impronta Ecologica.

Tutte le città moderne sono costituite, in definitiva, da queste quattro tipologie edilizie ed averne individuato l'IE specifica rappresenta il primo passo per la costruzione di uno strumento di governo sostenibile del territorio che possa utilizzare un indicatore comunemente impiegato per misurare gli effetti antropici sull'ecosistema globale.

La rappresentazione della città, se realizzata con questa tecnica, permette di calcolare alcune componenti dell'IE legata anche ad altre categorie di consumo, proprio perché sono assegnate ad ogni tipologia edilizia le aree di competenza relative alle infrastrutture di trasporto e mobilità, al verde pubblico, all'industria ed ai servizi. Questo metodo ha permesso quindi di rappresentare in maniera puntuale l'ambiente costruito e di identificarne i legami con il metabolismo urbano. Già in alcune applicazioni di calcolo dell'IEU è stato utilizzato lo schema del metabolismo urbano per identificare i flussi di materia ed il bilancio di massa delle città, seppur in maniera differente rispetto alla metodologia proposta. Nel caso di Londra, che rappresenta la metodologia attualmente più avanzata per il calcolo dell'Impronta Ecologica Urbana, è stato infatti seguito il metodo per componenti, al quale è stata affiancata la rappresentazione del Metabolismo Territoriale fornita dalla Royal Society for Nature Conservation. Questa esperienza ha segnato il primo passo verso la caratterizzazione urbana dell'IE ed il metodo seguito non fa che confermare la metodologia proposta in questo lavoro.

I risultati ottenuti sono stati molto interessanti sia riguardo la matrice messa a punto per il calcolo dell'IEU caratteristica che per la matrice che rappresenta il potenziale di mitigazione offerto dalla gestione sostenibile della categoria Abitazioni e Infrastrutture. Durante lo svolgimento del lavoro sono state poi rilevate una serie di informazioni che non è stato possibile fornire direttamente sia per la vastità degli argomenti che per il livello di specializzazione che richiede la formalizzazione di queste informazioni. Per questo motivo si è scelto di evidenziare i punti di debolezza del metodo in modo da fornire spunti per future implementazioni del modello stesso.

6.1 Utilità dell'IEU nella pianificazione urbana sostenibile

L'utilizzo dell'IE in ambito urbano rappresenta un traguardo importante per la gestione sostenibile del territorio. Generalmente infatti non è possibile confrontare i risultati ottenuti con politiche di governo locale con gli obiettivi posti dalla comunità Internazionale.

Il gha, l'Ettaro Globale Equivalente, rappresenta un'unità di misura in grado di quantificare le pressioni esercitate dall'uomo sull'ambiente in funzione del materiale che egli stesso utilizza per soddisfare i propri bisogni. Oltre ad essere un indice affidabile per la misurazione degli impatti generati a livello globale, l'IE è diventato un indice di sostenibilità conosciuto anche al di fuori dell'ambito scientifico, e per questo rappresenta un importantissimo strumento informativo per fare leva sull'opinione pubblica e sensibilizzare le persone a contribuire alla lotta al cambiamento climatico.

Lo strumento in questione si propone di presentare lo stato ecologico degli ecosistemi urbani attraverso questo stesso indicatore. In questo modo sarà possibile confrontare le performance urbane con gli obiettivi locali e avvicinare il problema ambientale al cittadino, che non vedrà più l'IE come un indice astratto che misura la disponibilità di terra in generale, ma come uno strumento in grado di legare l'effettiva disponibilità biologica del luogo in cui vive all'inquinamento direttamente provocato dalle sue azioni.

Il metodo proposto però, oltre ad essere un valido indicatore di sostenibilità, vuole in primo luogo rappresentare uno strumento di governo sostenibile del territorio in grado di intervenire sia in fase di pianificazione che in gestione territoriale.

6.1.1 Pianificazione Urbana Sostenibile

L'Impronta Ecologica, oltre ad essere un importante indice di sostenibilità in generale, grazie alla sua flessibilità ha permesso di mettere a punto uno strumento di monitoraggio e governo del territorio che potrà essere molto utile per la pianificazione di nuovi interventi insediativi o per la pianificazione di profonde trasformazioni territoriali – come il caso studio analizzato – nell'ottica di determinare la densità ottimale e il carico urbanistico massimo in funzione delle caratteristiche fisiche dell'intervento e della biocapacità dell'area considerata.

Lo strumento, partendo dall'analisi delle tipologie edilizie e dell'IE provocata da nuclei insediativi minimi di 1000 ab, consente infatti di rappresentare qualsiasi densità edilizia.

Lo studio rigoroso della biocapacità, condotto attraverso l'analisi approfondita del territorio e delle tecniche locali di sfruttamento, permette di individuare il livello di biocapacità da mantenere per definire un insediamento sostenibile.

Confrontando quindi l'IEU caratteristica di una determinata densità con la biocapacità locale, è possibile identificare il carico urbanistico massimo accettabile dal territorio, non più solo in funzione di estensioni meramente spaziali, come generalmente accade nella Tecnica Urbanistica

classica, ma in relazione alle caratteristiche peculiari del territorio analizzato, determinato da:

- Tecniche di sfruttamento del territorio e da quelle di produzione di beni e servizi;
- Comportamento più o meno consapevole del cittadino riguardo le tematiche ambientali ;
- Caratteristiche dell'ambiente costruito, date dai materiali utilizzati, dal livello di efficienza energetica degli edifici e dal potenziale produttivo delle fonti rinnovabili.

6.1.2 Gestione Urbana Sostenibile

Lo strumento proposto può trovare utilità anche nella fase di gestione del sistema città grazie alla facilità di specificazione dello strumento. Attraverso un'adeguata implementazione sarebbe ad esempio possibile valutare l'effetto delle micro-azioni in ogni ambito di intervento. Incentivi nei trasporti o per l'energia rinnovabile, programmi di efficienza energetica, Regolamenti Edilizi, PUM, PEC, PEAR, e tutti gli strumenti di pianificazione locale che intervengono direttamente sul territorio con qualsiasi forma di "prelievo" biologico.

Infatti, una volta caratterizzata l'IE all'ambiente costruito, attraverso la modellazione del Metabolismo Urbano, è possibile identificare tutti i legami esistenti tra azioni ed effetti sull'ambiente.

Attraverso l'ausilio del LCA è possibile costruire un database che consente di classificare tutte le BPA e le BTA a disposizione della sostenibilità ambientale, e valutarne l'effetto, sia economico che ecologico, grazie all'utilizzo degli algoritmi messi a punto per la costruzione dell'IEU, cioè la matrice degli impatti e quella di mitigazione.

6.1.3 Impronta Ecologica Urbana e *bottom up*

Ulteriori utili indicazioni possono essere date riguardo gli effetti di mitigazione che una trasformazione territoriale ecocompatibile può avere sui sistemi antropici limitrofi. Come detto le città sono generalmente caratterizzate da rapporti IE/BIOCAPACITA' molto deficitarie, il che significa che "invadono" terreni limitrofi. Nel caso in cui venga effettuata una trasformazione territoriale ad alto potere di mitigazione – ottenibile soprattutto grazie all'uso delle FER – possono essere valutati i riflessi diretti che hanno sul sistema territoriale generale e fornire utili indicazioni sul livello di sfruttamento del potenziale di mitigazione individuato in relazione all'obiettivo generale che si vuole perseguire.

In ottica di sviluppo sostenibile urbano è quindi auspicabile che in ogni trasformazione territoriale si analizzi dapprima l'IEU del sistema territoriale in cui inserita la trasformazione, al

fine di individuare gli aspetti più critici della sostenibilità locale, e poi calcolare la Matrice degli Impatti del luogo oggetto della trasformazione.

La Matrice di Mitigazione sarà tanto più spinta per le diverse categorie di consumo e tipologie di territorio, proprio in relazione ai deficit del sistema territoriale dominante da mitigare.

Un'ulteriore applicazione interessante dell'IEU è a costruzione con metodo bottom up dell'IE sovra locale.

E' stata più volte evidenziata, in questo e in altri studi, la poca adeguatezza del metodo ai sistemi territoriali locali, sia per il difficile reperimento di dati, poiché per ottenere l'IE globale sarebbe necessario raccogliere i dati locali di tutto il pianeta in uno stesso momento, che per la stessa rappresentatività dei sistemi urbano locali.

D'altra parte il metodo dell'IE si sta rapidamente diffondendo in tutto il mondo, per rappresentare sia sistemi territoriali che processi produttivi, per cui è importante identificare una metodologia che rappresenti puntualmente il territorio.

Applicando il metodo presentato a diverse località limitrofe, oltre ad individuare le relazioni esistenti tra le aree geografiche analizzate, sarà possibile costruire un'Impronta Ecologica sovralocale molto precisa ottenuta dall'unione delle IEU caratterizzate di tutti i sottosistemi locali e costruire al tempo stesso una precisa rappresentazione del territorio ed uno strumento di gestione puntuale ed affidabile che consenta di governare al meglio lo sviluppo sostenibile del territorio.

6.2 Risultati vs Obiettivi

Il modello di calcolo proposto risponde puntualmente a tutti gli obiettivi che sono stati individuati anche se non mancano spunti per migliorare e potenziare lo strumento di pianificazione e gestione proposto.

Il primo obiettivo da raggiungere era la ricerca degli indici urbanistici classici e l'IE. Questo obiettivo è stato raggiunto calcolando l'IE relativa alle diverse tipologie edilizie che tipicamente compongono la città. Questo approccio ha consentito di legare la stessa IE alla densità urbana, rispondendo quindi alla seconda esigenza individuata. E' chiaro infatti che la densità urbana è data dal mix delle tipologie edilizie analizzate, che sono prescritte dai piani urbanistici proprio per raggiungere livelli di densità prefissati.

Conoscere l'IEU specifica di ogni tipologia ha permesso l'identificazione del legame esistente tra densità e sostenibilità.

L'ultimo obiettivo da raggiungere era l'implementazione di uno strumento di pianificazione e gestione sostenibile del territorio; per questo obiettivo è stata semplicemente individuata la strada da percorrere poiché costruire database contenenti l'LCA delle BPA e delle BTA è un lavoro che richiede le competenze più disparate e un costante aggiornamento delle analisi eseguite.

In ogni caso è stato segnalato che l'integrazione del modello proposto, l'IEU, con database contenenti LCA e ACB delle azioni potenzialmente attivabili rappresenta un ottimo punto di partenza per raggiungere anche l'ultimo degli obiettivi preposti.

6.3 Potenzialità di sviluppo del modello

La matrice proposta – e gli algoritmi che sono necessari al suo funzionamento – rappresentano il punto di partenza di uno strumento di relativa semplicità, implementazione e gestione ma dalle numerose possibilità applicative e di ricerca, anche in considerazione del fatto che tutt’oggi il dibattito riguardo la metodologia dell’Impronta Ecologica, in particolar modo riguardo l’ambito locale, è particolarmente attivo e interdisciplinare. Istituzioni ed organizzazioni internazionali come il *Global Footprint Network*, il *Best Foot Forward* ed il *Global Carbon Project*, nonché la stessa UE stanno lavorando attivamente nell’implementazione della metodologia e sono in cerca di collaborazione, ed un lavoro di specificazione e localizzazione delle categorie di consumo e delle tipologie di terreno interessate rappresentano un’interessante ed ampia prospettiva di ricerca accademica.

In ogni caso sembra giusto ed utile ribadire che le potenzialità di sviluppo della metodologia riguardano tutti gli aspetti del governo del territorio e che questo lavoro richiede competenze molto specialistiche e analisi approfondite.

Per quanto riguarda i trasporti è auspicabile la creazione di database che contenga tutte le politiche di mobilità urbana sostenibile, che ne identifichi gli impatti con le diverse tipologie di territorio e che stabilisca delle soglie di convenienza nell’attuazione di determinate politiche attraverso l’ausilio dell’ACB. Tra tutte le politiche sembra utile segnalare le politiche di mobility sharing, il car pooling, la definizione di ZTL e di congestion charge e la costruzione di reti di trasporto supportate da parcheggi intermodali che garantiscano agli abitanti dell’abitante suburbano la possibilità di sostituire la mobilità privata con un buon servizio di mobilità pubblica.

Le stesse considerazioni possono essere fatte per la gestione del ciclo integrato delle acque, risorsa fondamentale che è però trascurata nella trattazione dell’IE, alla quale possono essere associate una serie di attività per la gestione efficiente della rete idrica e del recupero delle acque piovane come quelle descritte nel capitolo 2.

Anche per i rifiuti vale la stessa considerazione circa la necessità di un database che racchiuda le migliori tecnologie di trattamento in relazione alla tipologia di rifiuto, della sua composizione e degli impatti che provoca il sottoprodotto del trattamento.